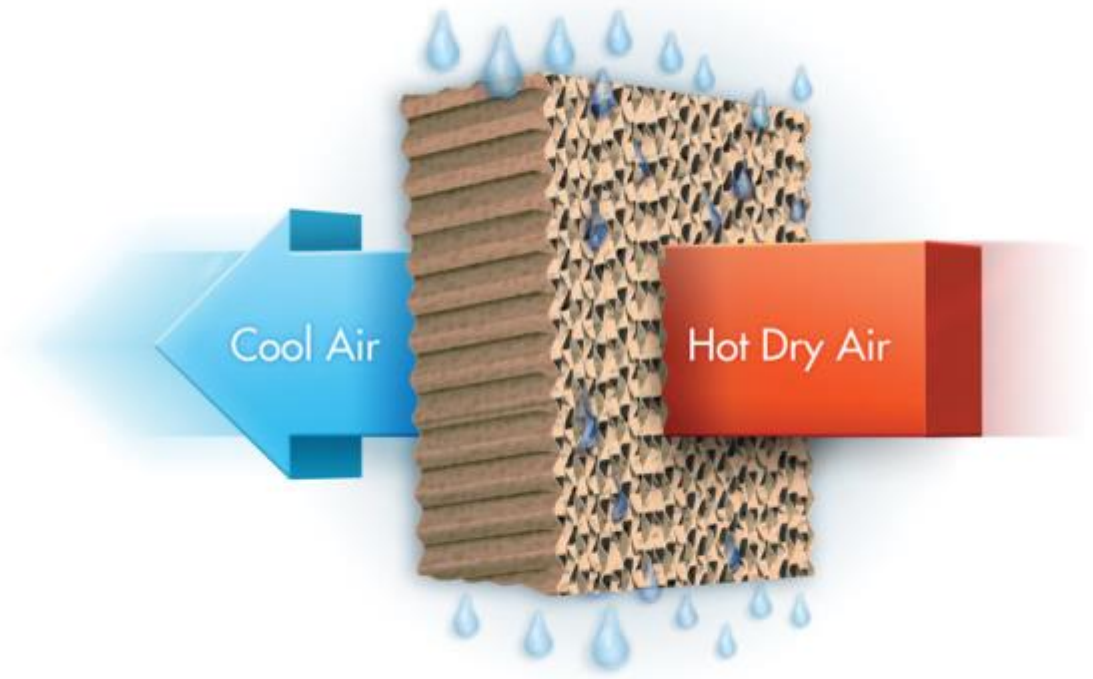
De toepasbaarheid van adiabatische koeling in een basisschool



Student: Gerwin van Wijhe

Studentnummer: 1566815

Opleiding: Hogere Installatie Techniek, Hogeschool Utrecht

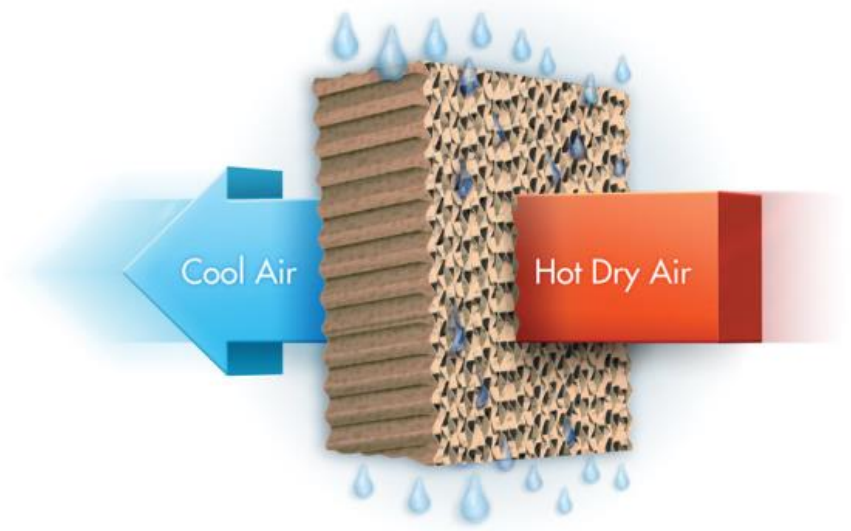
Datum: 08-01-2013

Huygen INSTALLATIE ADVISEURS

INSTITUTE FOR ENGINEERING & DESIGN HOGESCHOOL UTRECHT

Het bestuur van de Stichting Hogeschool Utrecht te Utrecht aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor schade voortvloeiende uit het gebruik van enig gegeven, hulpmiddel, werkwijze of procedure in dit verslag beschreven. Vermenigvuldiging zonder toestemming van de auteur(s) en de school is niet toegestaan. Indien het afstudeerwerk in een bedrijf is verricht, is voor vermenigvuldiging of overname van tekst uit dit verslag eveneens toestemming van het bedrijf vereist.

De toepasbaarheid van adiabatische koeling in een basisschool



Student:	Gerwin van Wijhe
Studentnummer:	1566815
Opleiding:	Hogere Installatie Techniek, Hogeschool Utrecht
Datum:	08-01-2013
Plaats:	Zwolle
Versie:	2.0
Afstudeerperiode:	september 2012 t/m januari 2013
Bedrijf:	Huygen Installatie Adviseurs B.V.
Bedrijfsbegeleider:	ir. J. de Borst
Opleiding:	Hogere Installatie Techniek, Hogeschool Utrecht
	1e begeleider: ir. J. Jongen
	2e begeleider: drs. R. Zoete

Samenvatting

In het laatste jaar van de opleiding Algemene Operationele Techniek, variant Hogere Installatie techniek, dient ter afsluiting een scriptie geschreven te worden. Het onderwerp en afstudeerbedrijf dient daarbij door de student zelf gezocht te worden. Het onderwerp dat in deze scriptie centraal staat is:

In hoeverre is investeren in adiabatische koeling voor een basisschool mogelijk, daarbij gelet op de koelcapaciteit, exploitatie, efficiëntie, onderhoud en gebruiksvriendelijkheid?

Het onderzoek wordt daarbij uitgevoerd voor de firma Huygen Installatie Adviseurs te Zwolle. Om antwoord te krijgen op de onderzoeksvraag, zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd om tot een juiste conclusie te komen. In eerste instantie is onderzocht wat en welke systemen gebruik maken van adiabatische koeling. Het principe van adiabatische koeling houdt in dat een luchtstroom in een systeem bevochtigd wordt met water. Het water in de lucht neemt de warmte van de lucht in zich op, met als gevolg het verdampen van het water en het afkoelen van de luchttemperatuur. Het voordeel van adiabatische koeling is dat geen elektrisch vermogen nodig is voor het koelen van de lucht. Het direct koelen van de lucht volgens adiabatische koeling kan echter problemen opleveren m.b.t. de legionellabacterie. Wanneer er gekozen voor het toepassen van directe adiabatische koeling dient de installatie aan verschillende eisen en richtlijnen te voldoen welke beschreven staan in de ISSO publicatie 55. Om de voordelen van adiabatische koeling te gebruiken in een klimaatinstallatie is directe adiabatische koeling verbeterd. Door het toepassen van een warmtewisselaar wordt de bevochtigde lucht niet meer de ruimte ingeblazen maar naar de buitenlucht, ook wel de secundaire luchtstroom genoemd. De primaire luchtstroom is de ‘verse’ buitenlucht die d.m.v. de warmtewisselaar door de secundaire luchtstroom afkoelt. De gekoelde lucht wordt d.m.v. kanalen en roosters de ruimte ingeblazen. Bij koelvermogens boven de 80 kW zijn er systemen die gebruik maken van adiabatische koeling in koeltorens.

Om te onderzoeken of adiabatische koeling mogelijk is in een basisschool, is een referentie basisschool te Etten-Leur (Noord-Brabant) geselecteerd. Dit is een bestaande basisschool waarvoor Huygen Installatie Adviseurs in het verleden een klimaatinstallatie heeft geadviseerd. Voor de basisschool zijn diverse berekeningen m.b.t. adiabatische koeling in Vabi 114 gemaakt. Het toepassen van indirecte adiabatische koeling is op dit moment nog niet mogelijk in het Vabi 114 programma. Het berekenen van het aantal uren dat indirecte adiabatische koeling toegepast wordt, dient te gebeuren met de gemaakte Excel bestanden behorende bij deze scriptie. Indirecte adiabatische koeling wordt toegepast wanneer de buitenlucht boven de adiabaatlijn van de retourlucht is.

Het aantal uren dat indirecte adiabatische koeling toegepast wordt in Nederland is ongeveer 520 uren per jaar, waarbij de basisschool de gehele zomer open blijft. Indien de basisschool in de zomer vier weken sluit, kan ongeveer 360 uren per jaar indirecte adiabatische koeling worden toegepast. In de noordelijke provincies zijn gemiddeld minder uren beschikbaar voor indirecte adiabatische koeling. Dit komt doordat de temperatuur in deze provincies gemiddeld lager ligt dan in de zuidelijke provincies. De verschillen tussen de noordelijke- en zuidelijke provincies is echter enkele tientallen uren per jaar.

Een indirect adiabatisch koelsysteem in een luchtbehandelingskast is qua gebruik, onderhoud en geleverd koelvermogen het meest geschikt voor het koelen van een klaslokaal in de basisschool. Om tot een vergelijking te komen m.b.t. de terugverdientijd en netto contante waarde wordt een indirect

adiabatisch koelsysteem vergeleken met een conventionele luchtbehandelingskast. Hierbij is voor zover als mogelijk voor beide systemen dezelfde uitgangspunten aangehouden. Indien de basisschool vier weken gesloten is in de zomer, dan is een luchtbehandelingskast met adiabatische koeling financieel niet aantrekkelijk t.o.v. een conventionele luchtbehandelingskast. Is de basisschool de gehele vakantie open dan is een indirect adiabatisch koelsysteem binnen 13 á 14 jaar terugverdiend.

Een adiabatisch koelsysteem is echter mogelijk voor het koelen van een basisschool. Met de huidige elektriciteitsprijs is het toepassen van een conventioneel koelsysteem qua exploitatie voordeliger. Uit duurzaam oogpunt is investeren zinvol. Bij het toepassen van indirecte adiabatische koeling is minder elektriciteit nodig dan bij een conventioneel koelsysteem. Dit heeft als gevolg dat minder elektriciteit opgewekt hoeft te worden.

Inhoudsopgave

Samenvatting 4
Voorwoord 7
Inleiding 8
1. Achtergronden 9
2. Organisatie en werkwijze 10
3. Opdracht 11
Deel 1: Theoretisch onderzoek 14
4. Adiabatische koeling 14
5. Risico en voorzorgsmaatregelen adiabatische koeling 20
Deel 2: Onderzoek basisschool 21
6. Case basisschool 21
7. Toepasbaarheid van adiabatische koeling 25
8. Uurgegevens diverse KNMI stations 34
9. Exploitatie overzicht 38
10. Conclusie en aanbevelingen 41
11. Evaluatie onderzoek 43
12. Reflectie 44
Afkortingen 46
Begrippen 47
Bronnen 48
Bijlagen 49

Bijlagen:

A Weergave diverse luchtbehandelingsprocessen in het Mollier-diagram
B Werking diverse adiabatische koelsystemen
C Toepassing van een luchtdroger in het Mollier- diagram
D Bouwkundige gegevens referentie basisschool te Etten-Leur
E Handleiding ontwikkelde Excel bestanden
F Weergave werking van de luchtbehandelingskast in één van de zeven gebieden
G Opbouw elektriciteitsprijs
H Rekenvoorbeeld indirecte adiabatische koeling in Mollier-diagram
I Resultaten TO berekening klaslokaal referentie basisschool
J Beschikbare uren m.b.t. directe adiabatische koeling gemeten bij diverse KNMI stations
K Opbouw exploitatiekosten adiabatische- en conventionele luchtbehandelingskast
L Cd-rom met ontwikkelde Excel bestanden

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie ‘De toepasbaarheid van adiabatische koeling in een basisschool’. Deze scriptie is ter afsluiting van de opleiding Algemene Operationele Techniek, variant Hogere Installatie Techniek. De opleiding wordt gegeven op de Hogeschool Utrecht te Utrecht.

Na drie jaar met het openbaar vervoer tussen Elburg en Utrecht gereisd te hebben, is het afstuderen de ideale mogelijkheid om een bedrijf in de regio te vinden. Het bedrijf Huygen Installatie Adviseurs B.V. te Zwolle sprak mij qua afstudeeropdracht het meest aan. Het onderwerp dat in deze scriptie onderzocht wordt, is adiabatische koeling m.b.t. een basisschool. Tijdens de opleiding is de term adiabatische koeling een enkele keer tijdens de colleges naar voren gekomen. De afstudeeropdracht is de ideale manier om meer inzicht en kennis in adiabatische koeling te ontwikkelen. De werking, haalbare koelcapaciteit, kosten en onderhoud van diverse adiabatische koelsystemen worden in deze scriptie verder toegelicht.

Mijn dank gaat uit naar mijn bedrijfsbegeleider Jacob de Borst, voor het begeleiden en aansturen van de afstudeeropdracht. De collega’s van Huygen Zwolle wil ik daarbij bedanken voor de hulp, ondersteuning en de mooie momenten op de afdeling. De begeleiders Joost Jongen en Roelant Zoete vanuit de Hogeschool Utrecht wil ik bedanken voor de overdracht van de kennis in de afgelopen jaren, en de feedback op dit document.

Naast bovenstaande personen wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor de steun en motivering in de afgelopen jaren.

Gerwin van Wijhe

Inleiding

Door de huidige financiële crisis moet er bezuinigd worden. Het bezuinigen gebeurt daarbij in alle sectoren van de samenleving. Eén van deze sectoren is het onderwijs. Bij de nieuwbouw van een basisschool is vaak niet voldoende budget aanwezig voor het installeren van een koelinstallatie. Het behaaglijk houden van een klaslokaal is echter belangrijk voor de prestaties van de leerlingen. Door het ontbreken van een koelinstallatie kan het in een klaslokaal bij zomerse temperaturen onaangenaam warm worden. Om de basisschool te koelen bestaat er een koelsysteem dat werkt d.m.v. het verdampen van water, ook wel adiabatische koeling genoemd.

De hoofdvraag die in deze scriptie onderzocht wordt is:

In hoeverre is investeren in adiabatische koeling voor een basisschool mogelijk, daarbij gelet op de koelcapaciteit, exploitatie, efficiëntie, onderhoud en gebruiksvriendelijkheid?

Om antwoord te krijgen op de hoofdvraag wordt onderzoek gedaan naar diverse systemen die gebruik maken van adiabatische koeling. De werking, toepasbaarheid voor een basisschool, exploitatiekosten en gebruiksvriendelijkheid van een adiabatisch koelsysteem zullen d.m.v. diverse berekeningen en literatuuronderzoek onderzocht worden.

Leeswijzer

Het afstudeerdocument is opgebouwd uit verschillende hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk zult u meer te weten komen over het bedrijf Huygen Installatie Adviseurs B.V. In hoofdstuk twee zullen de organisatie en werkwijze behandeld worden. In hoofdstuk drie worden de probleemstelling, hoofd- en deelvragen beschreven. De hoofdstukken vier en vijf worden beschreven in deel één; theoretisch onderzoek. In deze hoofdstukken worden diverse adiabatische principes en -systemen beschreven, met de eventuele risico's die de systemen met zich mee brengen. De hoofdstukken zes, zeven, acht en negen zijn beschreven in deel twee; onderzoek basisschool. Voor het onderzoek wordt een basisschool te Etten–Leur geselecteerd. Deze basisschool zal als uitgangspunt voor diverse berekeningen gelden. De beschrijving en uitgangspunten van de basisschool worden beschreven in hoofdstuk zes. Diverse berekeningen m.b.t. adiabatische koeling worden beschreven in hoofdstuk zeven. Voor het genereren van uitkomsten zijn diverse Excel bestanden en berekeningen gemaakt. In hoofdstuk acht worden de beschikbare uren waarbij indirecte adiabatische koeling mogelijk is, beschreven bij diverse KNMI stations. In hoofdstuk negen worden de exploitatiekosten van een adiabatisch koelsysteem t.o.v. een conventioneel koelsysteem vergeleken. In dit hoofdstuk zal blijken of investeren in een adiabatisch koelsysteem voordeliger is dan een conventioneel koelsysteem. De conclusie en eventuele aanbevelingen zijn beschreven in hoofdstuk tien. De evaluatie van het onderzoek wordt beschreven in hoofdstuk elf. Hoofdstuk twaalf beschrijft de competenties die opgedaan zijn tijdens de afgelopen afstudeerperiode.

1. Achtergronden

1.1. Huygen Installatie Adviseurs B.V.

De afstudeeropdracht is uitgevoerd bij de organisatie Huygen Installatie Adviseurs B.V. (HIA). Dit bedrijf is een onafhankelijk adviesbureau op het gebied van gebouw gebonden installaties. Binnen deze werkgebieden worden projecten uitgevoerd op het gebied van wonen, werken, zorg en recreatie. Hierbij valt te denken aan kantoorgebouwen, woongebouwen, zorgcomplexen en theaters. HIA bestaat sinds 1939 en er zijn ca. 50 medewerkers werkzaam. Deze medewerkers zijn verdeeld over vijf vestigingen. Deze vestigingen zijn: Maastricht, Den Bosch, Rotterdam, Amsterdam en Zwolle. In de vestiging Zwolle zijn de werkzaamheden t.b.v. de afstudeeropdracht uitgevoerd. In deze vestiging werken op dit moment zes medewerkers samen met één parttime inlener als tekenaars.

1.2. Aanleiding opdracht

Doordat er op de wereld steeds minder fossiele brandstoffen beschikbaar zijn voor het opwekken van energie zal er steeds meer vraag zijn naar alternatieve middelen om de energie op te wekken. Het gevolg hiervan is dat de klimaatinstallaties steeds duurzamer uitgevoerd zal worden. Het besparen van energie gebeurt niet alleen in de klimaatinstallaties maar ook in het bouwkundige gedeelte van een gebouw. De nieuw te bouwen gebouwen worden voorzien van materialen die de warmte of koude langer in het gebouw vast kunnen houden. Dit is vaak ook het geval bij de bouw van scholen. In de winter is dit geen probleem. Echter in de zomermaanden zijn er enkele problemen die optreden. In de zomer wordt het gebouw van buitenaf opgewarmd. Door de hogere isolatiegraad gaat de warmte niet/ minder snel het gebouw uit. Daarnaast wordt er warmte geproduceerd door de interne belastingen (leerlingen en warmtebronnen in de ruimte zelf). Om de ruimte op de gewenste conditie te krijgen zal er gekoeld moeten worden. Dit geld is niet altijd beschikbaar, vooral niet bij basisscholen. Dit komt doordat de overheid en gemeenten, mede dankzij de crisis, steeds minder geld ter beschikking hebben. Doordat er weinig geld beschikbaar is, bestaat er niet altijd de mogelijkheid een wko- installatie of andere duurzame installatie toe te passen.

Om de basisschool te kunnen koelen bestaat er een ‘natuurlijk’ proces genaamd: adiabatische koeling. Adiabatische koeling is gebaseerd op het verdampen van water. De energie die voor deze vorm van koeling nodig is wordt onttrokken aan de lucht. Doordat er energie onttrokken wordt aan de ‘warmere’ lucht koelt de lucht af. Dit proces wordt bij enkele luchtbehandelingfabrikanten uitgevoerd in de luchtbehandelingskast. Dit proces heeft als extra kostenposten het verbruik van water, pompenergie en ventilatorenenergie. Door het bevochtigen van de lucht in het luchtkanaal neemt de weerstand voor de luchtstroom in het luchtkanaal toe. De ventilator die voor de luchtverplaatsing zorgt zal meer energie moeten leveren t.o.v. lucht die niet bevochtigd is. Uit onderzoek zal moeten blijken welk(e) syste(e)m(en), hoeveel dagen/ uren adiabatische koeling toegepast kan worden voor een basisschool.

2. Organisatie en werkwijze

2.1. Organisatie

Opdrachtgever	
Bedrijf:	Huygen Installatie Adviseurs B.V.
Adres:	Wilhelm Röntgenstraat 4, Zwolle
Postcode:	8013 NE
Begeleider	
Naam:	Ir. J. de Borst (Jacob)
Functie:	Adviseur
Email:	j.deborst@huygen.net
Telefoon:	038- 46 064 74

Onderzoeker	
Naam:	G. van Wijhe (Gerwin)
Opleiding:	Algemene operationele Techniek, variant Hogere Installatie Techniek
Studentnr:	1566815
Adres:	Kersenkampstraat 9
Postcode:	8081 BR
Woonplaats:	Elburg
Telefoon:	06 - 416 60 676
Email:	gerwin.vanwijhe@student.hu.nl

Onderwijsinstelling	
Hogeschool:	Faculteit Natuur en Techniek
Adres:	Oudenoord 700, Utrecht
Postcode:	3513 EX
1e Begeleider	
Naam:	ir. J. Jongen
Email:	Joost.jongen@hu.nl
2e Begeleider	
Naam:	drs. R. Zoete
Email:	Roelant.zoete@hu.nl

2.2. Werkwijze

De periode voor het afstuderen vindt plaats van september 2012 t/m januari 2013. Voor het uitvoeren van de afstudeeropdracht is de hele werkweek (maandag t/m vrijdag) beschikbaar. Tijdens de werkdagen bestaat er de volledige mogelijkheid om aan de opdracht te werken.

Het overleg over het verloop van het proces vindt plaats d.m.v. besprekingen met de bedrijfsbegeleider, collega's en de schoolbegeleiders.

3. Opdracht

3.1. Probleemstelling

Door de steeds hogere thermische isolatiegraad van een basisschool wordt de interne warmtelast ten gevolge van personen een steeds groter probleem. Het probleem dat ontstaat is om de (zomer) temperatuur in een klaslokaal beheersbaar te houden. Mechanische koeling is qua exploitatie voor een school zelden mogelijk. Dit komt omdat bodemkoeling niet voorhanden is door de te hoge kosten en gebrek aan ruimte in of om het gebouw.

3.2. Hoofd en deelvragen

Om het onderzoek naar de toepasbaarheid van adiabatische koeling zo goed mogelijk uit te voeren, is een hoofdvraag opgesteld. De hoofdvraag die centraal staat tijdens het onderzoek is:

In hoeverre is investeren in adiabatische koeling voor een basisschool mogelijk, daarbij gelet op de koelcapaciteit, exploitatie, efficiëntie, onderhoud en gebruiksvriendelijkheid?

De hoofdvraag is onderverdeeld in deelvragen. Middels het beantwoorden van de verschillende deelvragen zal duidelijkheid worden verschaft ten behoeve van de hoofdvraag.

De deelvragen zijn:

1. Welke adiabatische koelsystemen zijn er op de markt, en wat is de werking van de verschillende systemen die gebruik maken van dit principe?;

2. Welke voordelen heeft adiabatische koeling t.o.v. andere koelsystemen?

3. Welke risico's zijn aanwezig bij adiabatische koeling?;

4. Kan door de voorschakeling van een luchtdroger meer koelvermogen gehaald worden uit de lucht bij traditionele koeling?;

5. Hoeveel uren/ dagen per jaar kan adiabatische koeling worden toegepast bij een basisschool rekening houdende met de verschillende buitencondities?;

6. Is adiabatische koeling qua exploitatiekosten voordeliger dan een conventioneel systeem?

3.2.1. Plan van Aanpak

Deelvraag 1:
Het beantwoorden van deelvraag één bestaat voor een groot gedeelte uit literatuur en internet onderzoek. De energie uitwisseling van water met lucht wordt adiabatische koeling genoemd. Het onderzoek zal zich in eerste instantie richten op uit welke principes adiabatische koeling bestaat. Wanneer de principes bekend zijn, worden de systemen ingedeeld bij het juiste adiabatische systeem. Hierbij zal, indien nodig, voor de beschrijving van diverse systemen contact gezocht worden met leveranciers die adiabatische systemen leveren.

Deelvraag 2:
Aan de hand van de beschrijving van deelvraag één, over de diverse systemen, zal onderzocht worden wat de voordelen van het beschreven systeem op adiabatische- of conventionele koelsystemen is. Hierbij wordt gelet op het koudevermogen, benodigd vloeroppervlak, milieuaspecten, energiekosten, gebruik van een koelmiddel, capaciteit en dergelijke. De voordelen van de diverse systemen zullen daarbij doorslaggevend zijn voor de adiabatische systemen die mogelijk toepasbaar zijn voor een basisschool.

Deelvraag 3:
Welke risico's leveren het verdampen van water op voor de omgeving en de levensduur van het systeem? Uit literatuur onderzoek zal onderzocht worden of, en zo ja, welke risico's adiabatische koeling heeft. Bij eventuele risico's wordt onderzocht of het plaatsen van een adiabatisch systeem geschikt is voor een veilige klimaatinstallatie van een basisschool.

Deelvraag 4:
Hoe warmer en droger de lucht is, des te meer water door de lucht opgenomen kan worden. Het gevolg hiervan is dat de lucht meer water op kan nemen waardoor de temperatuur van de lucht daalt. Het klimaat in Nederland is relatief vochtig en kent milde zomers. De lucht kan daarbij ontvochtigd worden door een luchtdroger. Onderzocht zal worden welke materialen toegepast kunnen worden voor een luchtdroger en wat de exploitatiekosten van een luchtdroger zijn.

Deelvraag 5:
Om te onderzoeken hoeveel uur/ dagen adiabatische koeling geschikt is voor een basisschool worden diverse berekeningen gemaakt. Het aantal uur waarbij het een bepaalde buitenconditie is geweest wordt berekend met metingen van diverse KNMI stations. De metingen van de KNMI stations zijn daarbij verdeeld over Nederland. Door het vergelijken van de metingen wordt onderzocht of er onderling tussen de metingen van de KNMI stations in Nederland grote afwijkingen in buitencondities zijn. De buitencondities die hiervoor gebruikt worden, worden gedownload van de website www.knmi.nl. Het doel is om een Excel bestand te ontwikkelen waarbij buitencondities van een willekeurig KNMI station geïmporteerd kunnen worden. In dit bestand kunnen de openingsuren, zaterdag en zondag uit de berekende uren gehaald worden. Een overzicht met de toepasbare uren voor adiabatische koeling wordt daarbij geprojecteerd in een Mollier-diagram. Onderzoek zal moeten uitwijzen bij welke binnen- en buiten condities adiabatische koeling mogelijk is. Met het totaal aantal beschikbare uren zal vervolgens voor diverse principes van adiabatische koeling de verkregen vermogens en energiekosten worden berekend. De berekening van de principes dient daarbij opgebouwd te worden in een Excel bestand. Enkele aandachtspunten waarop gelet moet worden in de berekening bij adiabatische koeling is het verbruik van water, extra kosten die voorkomen uit de ventilatorenenergie, eventuele vastrechtkosten aan riolering en de eventuele mechanische nakoeling. De uitkomsten uit de Excel berekeningen worden, indien mogelijk, vergeleken met de uitkomsten in Vabi 114. Met behulp van Vabi 114 gebouwsimulatie (TO berekening) wordt berekend hoeveel uren in een jaar een ruimte boven de gewenste ruimtetemperatuur is geweest. Met de uitkomsten van de Vabi berekening kan het geplaatste koelvermogen en koelenergie worden bepaald. Met deze gegevens is het mogelijk terug te rekenen hoeveel uren adiabatische koeling toegepast is in de basisschool. Wanneer Vabi 114 niet beschikt over het toepassen van adiabatische koeling dan zullen alternatieve mogelijkheden onderzocht worden.

Deelvraag 6:
Met behulp van de berekende resultaten uit deelvraag vijf zullen de exploitatiekosten bepaald worden. T.b.v. de keuze zal voor de basisschool een adiabatische- t.o.v. een conventioneel koelsysteem vergeleken worden. Hierbij zal getracht worden om zoveel mogelijk dezelfde uitgangspunten aan te houden. De exploitatiekosten waarop gelet moet worden zijn: mechanische arbeid, waterverbruik, vastrechtkosten, onderhoudskosten en investeringskosten. De investeringskosten en onderhoudskosten van het koelsysteem dienen daarbij opgevraagd te worden bij de leverancier. Met het kostenoverzicht kan vervolgens de terugverdientijd (tvt) en netto contante waarde (ncw) worden berekend. Wanneer de ncw positief is tussen een adiabatische- t.o.v. een conventioneel koelsysteem is de investering rendabel. Bij een ncw van 0 is een adiabatisch- t.o.v. een conventioneel koelsysteem terugverdiend. De vergelijking van de diverse systemen zal in twee situaties berekend worden. In één van de situaties wordt rekening gehouden met een zomervakantie van vier weken en in de andere situatie is er geen zomervakantie. Uit deze berekeningen zal blijken of het investeren in adiabatische koeling voor een basisschool rendabel is.

3.3. Eisen en randvoorwaarden

Eisen:
Het eindrapport zal een advies bevatten aan Huygen Installatie Adviseurs over het toepassen van adiabatische koeling in een basisschool te Etten-Leur. Hierbij dient een werkende rekentool opgeleverd te worden waarmee, op uurbasis, de energetische voordelen van adiabatische koeling in kaart wordt gebracht. De rekentool dient daarbij eenvoudig in gebruik te zijn.

Randvoorwaarden:
In dit onderzoek zal alleen gekeken worden naar een basisschool. Het onderzoeken voor de mogelijkheden naar adiabatische koeling voor andere gebouwtypes zal niet worden onderzocht. Bij diverse berekeningen wordt uitgegaan van vooraf bepaalde uitgangscondities. De uitkomsten kunnen hierdoor enige afwijking vertonen met de realiteit.

3.4. Eindproducten

Één van de eindproducten van dit onderzoek bestaat uit de scriptie. Het doel van dit document is een advies te geven aan Huygen Installatie Adviseurs m.b.t. de hoofdvraag.

De eindproducten die bij de scriptie horen zijn:

- een rekentool genaamd ‘Spreadsheet’ waarmee op uurbasis de energetische voordelen van adiabatische koeling in kaart wordt gebracht;
- een Excel bestand genaamd ‘berekening adiabatische koeling’ waarmee diverse adiabatische processen doorgerekend worden;
- uitgangspunten basisschool;
- simulatie van een basisschool in VABI 114 (Gebouwsimulatie);
- presentatie en verdediging van de scriptie.

Deel 1: Theoretisch onderzoek

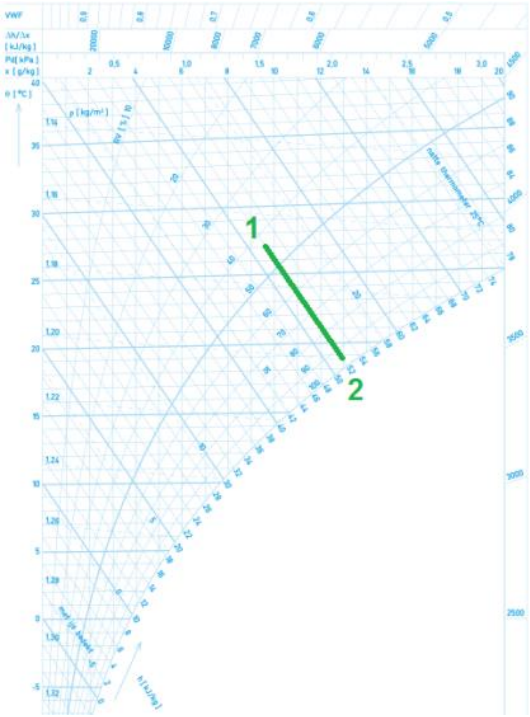
4. Adiabatische koeling

In dit hoofdstuk wordt adiabatische koeling beschreven. De vragen hoe men op het idee is gekomen en welke manieren er tegenwoordig zijn met adiabatische koeling, worden in dit hoofdstuk beantwoord. Het koelen van de lucht kan daarbij volgens twee verschillende manieren plaats vinden. Deze twee manieren zijn: directe- en indirecte adiabatische koeling. De energie uitwisseling van het direct- en indirect adiabatische koelen worden in dit hoofdstuk verder toegelicht. Tevens is in dit hoofdstuk beschreven wanneer een ruimte door personen als behaaglijk wordt beschouwd.

4.1. Principe

Het principe van adiabatische koeling is het koelen d.m.v. het verdampen van water [*internetbron:1*]. Voor dit principe zijn minimaal twee media nodig, namelijk water en lucht. De lucht stroomt een luchtkanaal binnen. De lucht wordt vervolgens bevochtigd met water. Het vernevelde water uit de bevochtiginginstallatie neemt de warmte van de luchtstroom op. Het vernevelde water verdampt in de lucht. De energie die nodig is voor het verdampen van het vernevelde water wordt gehaald uit de lucht. Het uiteindelijke resultaat is dat de lucht in temperatuur daalt.

Het principe adiabatische koeling van punt één naar punt twee is in het Mollier-diagram figuur 1 weergegeven. Het Mollier-diagram geeft voor een bepaalde atmosferische druk de verbanden weer tussen de temperatuur, enthalpy, absolute vochtigheid, relatieve vochtigheid en soortelijke massa. Het Mollier-diagram is weergegeven in bijlage A met diverse luchtbehandelingprocessen daarin aangegeven. Het afkoelen van de lucht gaat daarbij via de adiabaatlijn in het Mollier-diagram. Dit wil zeggen dat de enthalpie, ook wel warmte-inhoud van de lucht, gelijk blijft. Als gevolg van de gelijk blijvende enthalpie waarde daalt de temperatuur, maar de absolute vochtigheid in de lucht wordt groter. De lucht kan tot een relatieve vochtigheid (RV) van 100% bevochtigd worden. Dit wordt ook de dauwpuntstemperatuur genoemd. Bij de verzadigingslijn kan geen vocht meer in de lucht verdampen. In de praktijk wordt de lucht in diverse systemen bevochtigd tot een RV van 90% á 95%. De lucht wordt daarbij niet tot een RV van 100% bevochtigd omdat daarvoor het verdampingselement onnodig groot in afmetingen wordt. Het koelen d.m.v. adiabatische koeling is een energiezuinige en natuurlijke manier van koelen.

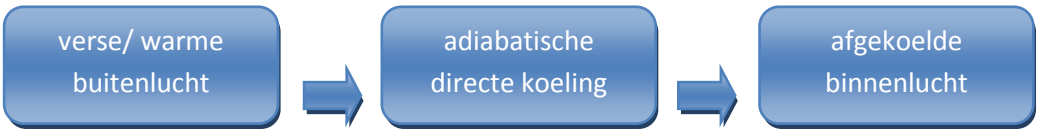


Figuur 1, adiabatische koeling in het Mollier-diagram

4.2. Directe adiabatische koeling

Adiabatische koeling kan volgens twee manieren toegepast worden. Één van de twee manieren om een gebouw te koelen is d.m.v. directe adiabatische koeling [*internetbron: 1*]. Bij directe adiabatische koeling wordt de aangezogen warme lucht bevochtigd d.m.v. water. Het water neemt warmte van de langsstromende buiten- of binnenlucht op, het gevolg is dat de lucht afkoelt. De afgekoelde lucht wordt vervolgens in de ruimte geblazen. De aangezogen buitenlucht wordt alleen bevochtigd en vervolgens de ruimte ingeblazen. Doordat het adiabatische proces van de lucht langs de adiabaatlijn loopt, stijgt de RV. Met directe adiabatische koeling wordt de RV in het systeem niet nageregeld. Het grote nadeel hiervan is dat de gekoelde lucht met een RV-gehalte van 90 á 95% in de ruimte geblazen wordt. Dit geeft geen probleem als van de 1.000 m^3/h luchtverversing slechts 100 m^3/h in de ruimte wordt geblazen. Wordt de volledige luchtverversing in de ruimte geblazen dan zal het wel voor problemen zorgen. Het gevolg van deze hoge RV is dat de personen in de ruimte zich klam en onaangenaam voelen. In Nederland wordt directe adiabatische koeling (bijna) niet meer toegepast. In industriële ruimten waar een hoge RV mag heersen kan dit systeem worden toegepast. Dit gebeurt o.a. bij de papierindustrie.

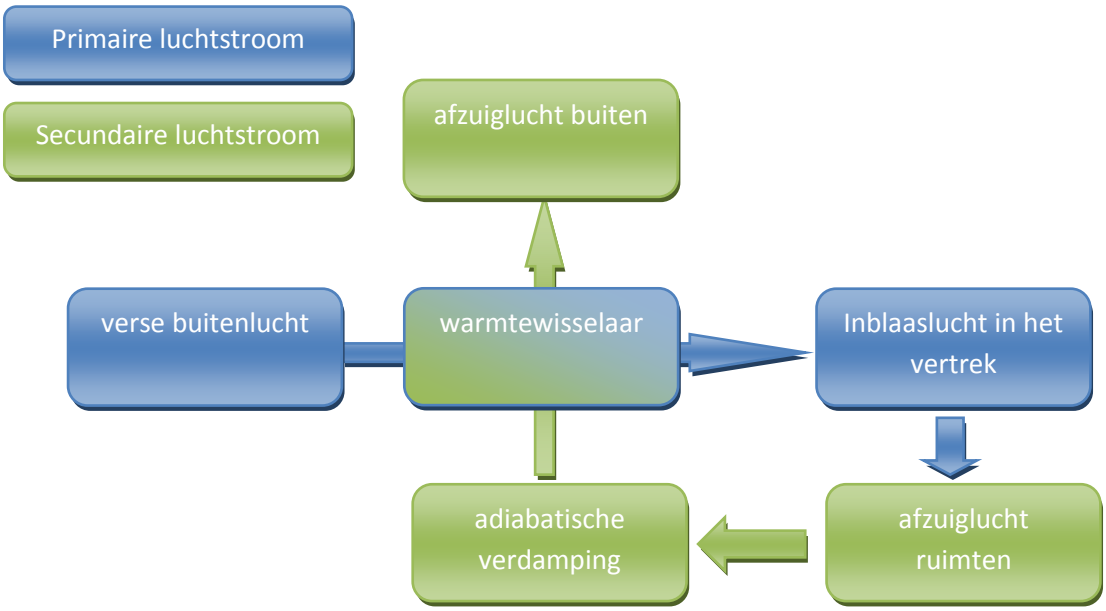
De primaire reden is het bevochtigen van de lucht. Het secundaire gevolg is luchtkoeling. Het principe van directe adiabatische koeling wordt weergegeven in figuur 2. Directe adiabatische koeling kan in de wintermaanden gebruikt worden om de lucht te bevochtigen.



Figuur 2, principe directe adiabatische koeling

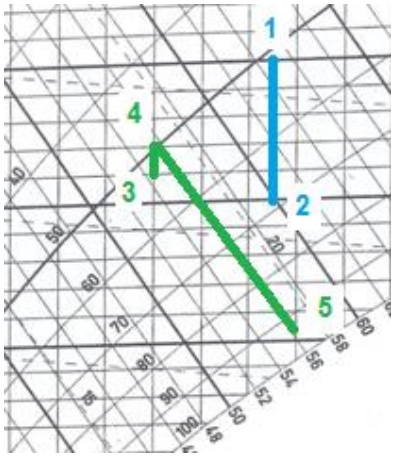
4.3. Indirecte adiabatische koeling

De andere manier om een gebouw te koelen d.m.v. adiabatische koeling is indirecte adiabatische koeling [*internetbron: 1,2 en mondeling 1 en 4*]. Om de voordelen van adiabatische koeling te kunnen gebruiken is het principe van directe adiabatische koeling verbeterd. Er is een principe ontwikkeld waarbij de lucht indirect wordt gekoeld. Het koelen van de lucht gebeurt nu via een gesloten warmtewisselaar. De 'vervuilde' retourlucht uit het gebouw wordt bevochtigd voor de warmtewisselaar. Met de primaire luchtstroom wordt de verse buitenlucht naar de inblaaslucht van de ruimten bedoeld. De primaire luchtstroom is in figuur 3 blauw aangegeven. De bevochtigde secundaire luchtstroom wordt na de warmtewisselaar naar buiten geblazen. De primaire luchtstroom wordt eerst van buiten aangezogen, gekoeld door de secundaire luchtstroom en vervolgens de verschillende ruimtes ingeblazen. Onder de secundaire luchtstroom wordt de afzuiglucht van het gebouw naar de afzuiging buitenlucht bedoeld. In figuur 3 is de secundaire luchtstroom groen gearceerd. De bevochtigde secundaire luchtstroom neemt daarbij energie op van de primaire luchtstroom. Het gevolg hiervan is dat de primaire luchtstroom afkoelt.



Figuur 3, principe indirecte adiabatische koeling

De inblaascondities bij indirecte adiabatische koeling zijn t.o.v. directe adiabatische koeling voordeliger, dit aangezien de RV van de inblaaslucht in het vertrek niet meer dan 90% á 95% is. Het indirect adiabatisch proces wordt in het Mollier-diagram weergegeven in figuur 4. De blauwe lijn in figuur 4 (van punt één naar twee) geeft daarbij de primaire luchtstroom aan. Het absolute vochtgehalte van de lucht blijft daarbij constant. De gewenste inblaastemperatuur kan vervolgens verkregen worden door mechanisch na te koelen. De secundaire luchtstroom gaat van punt drie tot vijf. De afzuiglucht uit de ruimten wordt door de ventilator ongeveer 1K opgewarmd, weergegeven in punt drie naar vier. Vanaf punt vier tot vijf vindt in de warmtewisselaar adiabatische bevochtiging plaats. Zoals eerder beschreven in hoofdstuk 4.1 verloopt deze lijn langs de adiabaatlijn, zoals weergegeven in het Mollier-diagram.



Figuur 4, indirect adiabatisch proces in Mollier-diagram

Indirecte adiabatische koeling wordt toegepast in luchtbehandelingskasten en systemen geschikt voor het koelen van meerdere ruimtes. De werking van de diverse systemen wordt beschreven in bijlage B. In paragraaf 4.3.1 wordt indirecte adiabatische koeling in luchtbehandelingskasten beschreven.

Doordat de buitenlucht eerst d.m.v. indirecte adiabatische koeling koelt wordt er bespaard op het mechanische koelvermogen. Hierdoor is het verbruik aan elektriciteit kleiner. Daarbij worden er geen koelmiddelen gebruikt die schadelijk zijn voor het milieu.

De kostenposten voor het toepassen van indirecte adiabatische koeling is het verbruik van water, pompenergie van het water en het hoger geworden ventilatorenergie. De ventilatorenergie is hoger

geworden door de extra opgelopen weerstand in het luchtkanaal. De weerstand in het luchtkanaal is hoger geworden door het bevochtigen van de lucht.

4.3.1. Adiabatische koeling in luchtbehandelingskasten

Gebouwen worden voorzien van luchtbehandelingskasten. Deze luchtbehandelingskasten zorgen ervoor dat de ruimten in het gebouw voorzien worden van verse lucht, en de vervuilde lucht uit de ruimten afgezogen wordt. De toevoerlucht wordt van buitenaf aangezogen. Zoals bekend is, variëren de buitencondities continu. Om de gewenste inblaastemperatuur in de gebruikersruimten te kunnen realiseren, zal de lucht in de luchtbehandelingskast gekoeld of verwarmd moeten worden. In de luchtbehandelingskast gebeurt normaliter d.m.v. een koel- of verwarmingsbatterij. De koel- en verwarmingsbatterijen worden aangesloten op het watercircuit. Het watercircuit wordt op de juiste temperatuur gebracht, door de desbetreffende opwekker in de installatie. Hoe kleiner de afgifte bron is, hoe meer energie en kosten er bespaard kunnen worden in de opwekker en distributienet.

In de zomer, wanneer de interne ruimtetemperaturen niet meer als behaaglijk beschouwt worden, zal een behaaglijk binnenklimaat verkregen worden door de lucht in de luchtbehandelingskast te koelen. Het inblazen van gekoelde lucht in de ruimte zal het gevolg hebben dat de temperatuur in de ruimte daalt. Het koelen van de ruimte gebeurd totdat het ingestelde setpoint van de ruimte is bereikt, met als gevolg een behaaglijk binnenklimaat.

De inblaasluchttemperatuur kan d.m.v. adiabatische koeling gereduceerd worden. Directe adiabatische koeling wordt niet toegepast in de luchtbehandelingskast. Deze vorm van koelen heeft teveel risico's (legionella vorming en een te hoge RV). Het koelen d.m.v. indirecte adiabatische koeling wordt wel toegepast in de luchtbehandelingsinstallatie. De lucht wordt eerst gekoeld d.m.v. indirecte adiabatische koeling en indien nodig kan de lucht nagekoeld worden d.m.v. een koelbatterij. Op dit moment zijn er in Nederland twee fabrikanten die adiabatische koeling in luchtbehandelingskasten toepassen. Dit zijn Menerga en Wolf. De werking van de systemen wordt beschreven in bijlage B.

4.4. Toepassing van luchtdrogers

Adiabatische koeling levert het hoogste rendement bij een hoge buitentemperatuur met een daarbij zo klein mogelijke RV. In Nederland is de lucht vaak vochtig. Om het optimale rendement uit adiabatische koeling te halen, bestaan er luchtdrogers. Deze luchtdroger dient voor de te bevochtigde luchtstroom geplaatst te worden [*internetbron 12*]. De luchtdroger zorgt ervoor dat de absolute vochtigheid in de lucht minder wordt. Doordat de absolute vochtigheid in de lucht minder wordt zal de RV dalen. De secundaire luchtstroom heeft nu een groter oppervlak (Δx) ter beschikking voor de adiabatische bevochtiging. In de lucht zal nu meer waterdamp toegevoerd worden. Dit heeft als gevolg dat uit de primaire luchtstroom meer warmte gehaald kan worden door het verdampen van het water. De werking van een luchtdroger in het Mollier-diagram wordt weergegeven in bijlage C. Droogmiddelen die toegepast worden in een luchtdroger zijn:

Figuur 5, silicagel

- silicagel (SiO_2), weergegeven in figuur 5;
- aluminiumoxide;
- moleculaire zeven (zeoliet).

De droogmiddelen nemen daarbij het vocht uit de lucht in zich op. Om het vocht uit de droogmiddelen te halen dient silicagel en zeoliet verwarmd te worden. Dit gebeurt d.m.v. de lucht te verwarmen tot een temperatuur van 120 á 150°C. Deze warme lucht zorgt voor de afstoting van waterdamp uit het droogmiddel en verlaat als natte warme lucht de luchtdroger naar buiten.

Voor het toepassen van een luchtdroger in een basisschool zullen de investeringskosten te groot zijn [mondeling 5]. In de voedingsindustrie waarbij standaard luchtcondities moeten heersen, is het ontvochtigen door een luchtdroger de ideale oplossing. De inblazende lucht zal daarbij een constant vochtgehalte hebben. De gewenste temperatuur kan daarbij via de klimaatinstallatie geregeld worden.

4.5. Comfort beoordelingscriteria

Door gebruik te maken van adiabatische koeling is het van belang om te weten welke luchtcondities een rol spelen op de behaaglijkheidbeleving [*literatuurbron 1*]. De gewenste ruimtetemperatuur kan met behulp van verschillende klimaatinstallaties bereikt worden. Maar niet alleen de temperatuur is van belang voor een behaaglijk binnenklimaat, ook de activiteit die de persoon uitvoert, of de kleren die een persoon aan heeft.

Men kan de factoren onderverdelen in twee categorieën: persoonsgebonden invloeden en externe invloeden.

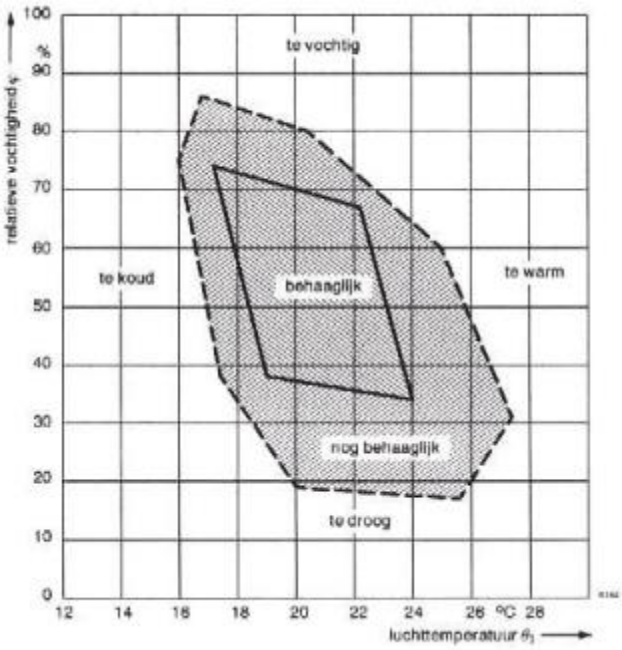
Persoonsgebonden invloeden:

- metabolisme. Het metabolisme geeft de warmteontwikkeling van de persoon aan;
- CLO waarde. De CLO waarde geeft de kledingweerstand van een persoon aan.

Externe invloeden:

- relatieve vochtigheid;
- luchttemperatuur;
- luchtsnelheid;
- stralingsasymmetrie.

Bij het ontwerp van de klimaatinstallatie spelen bovenstaande factoren een belangrijke rol.



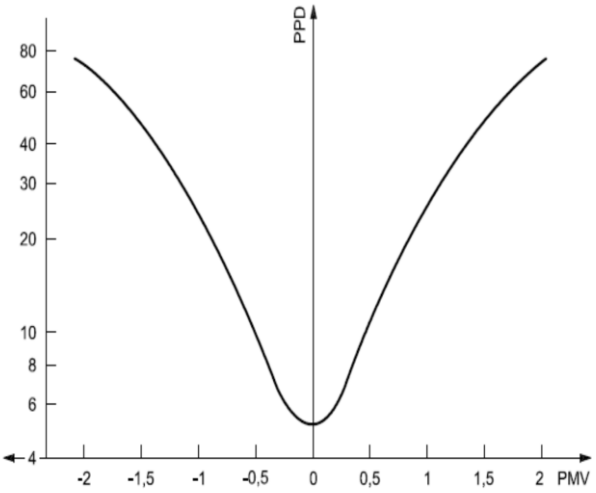
Figuur 6, comfortgebied van een ruimte

In figuur 6 wordt het comfortgebied van een ruimte aangegeven. Het comfortgebied is opgesteld met behulp van de parameters RV en luchttemperatuur.

Bij een luchtsnelheid in de ruimte van groter dan 0,2m/s uit het rooster zullen er tochtverschijnselen optreden. Dit zal als onbehaaglijk worden ervaren.

De stralingstemperatuur geeft een temperatuur van een persoon weer tussen de omringende wanden, dak, vloer en apparaten. De stralingstemperatuur op een punt wordt bepaald d.m.v. berekeningen en eventueel metingen.

De bovenstaande factoren zijn door prof. Dr. P.O. Fanger op basis van empirische waarnemingen en onderlinge samenhang tot een model gemaakt. Het model van Fanger geeft een getalswaarde weer in PMV (gemiddelde voorspelde uitspraak) en is weergegeven in figuur 7. De PMV waarde ligt daarbij tussen +3 (heet), 0 (neutraal) en -3 (koud). Aan de hand van deze waarde kan het voorspelde percentage ontevreden mensen (PPD) worden bepaald. Bij het ontwerpen zal de binnentemperatuur als behaaglijk worden beschouwd als de PMV waarde tussen de -0,5 en +0,5 ligt. Het percentage ontevreden mensen zal onder deze omstandigheden onder de 10% liggen. In figuur zes wordt aangegeven dat een behaaglijk binnenklimaat van 18°C tot 24°C, en een RV van 35% tot 70% is. Binnen het genoemde gebied zullen de binnencondities bij het ontwerpen de ideale waarden voor de klimaatinstallatie zijn.



Figuur 7, PPD ten opzichte van PMV

5. Risico en voorzorgsmaatregelen adiabatische koeling

5.1. Risico's

Eén van de grotere risico's waarop gelet moet worden bij adiabatische koeling is de groei van de legionellabacterie in het water [*literatuur 4 en internet 8*]. De legionellabacterie verspreidt zich door aerosolen (waterdeeltjes). Als een mens waterdamp inademt dat besmet is met aerosolen, kan dit lichte griep, longontsteking of zelfs een dodelijke afloop tot gevolg hebben. De gevolgen lopen uiteen omdat het afhankelijk is van de weerstand van de persoon die de bacterie oploopt.

Het is belangrijk dat in de systemen die gebruik maken van water, erop gelet wordt dat de legionellabacterie zich niet kan ontwikkelen. Bij de engineering van adiabatische koelsystemen zal goed gekeken moeten worden naar de groeiomstandigheden en de verspreiding van de legionellabacterie.

De legionellabacterie heeft verschillende groeiomstandigheden. Onder de 20°C is de bacterie aanwezig in het water, maar groeit niet. Tussen de 25°C en 45°C groeit de bacterie. De optimale groei van de bacterie vindt plaats op 35°C. Boven de 70°C groeit de bacterie niet meer.

Het voorkomen van de verspreiding van de legionellabacterie kan door de temperatuur te verhogen. Hoe hoger de temperatuur wordt, hoe sneller de bacterie verdwijnt. Bij een temperatuur tussen de 70°C en 80°C groeit de bacterie niet meer en is er geen gevaar voor de gezondheid.

Bij de ontwikkeling van de legionellabacterie is naast de temperatuur ook het medium van belang. De legionellabacterie bevindt zich in de volgende media:

- water, bij voorkeur stilstaand water;
- lucht;
- bepaalde voedingsstoffen: aminozuren/ hoge concentraties ijzerverbindingen.

Bij directe adiabatische koeling wordt de lucht met waterdamp direct de ruimte in gestuurd. Als in de zomer de temperatuur boven de 30°C komt, kan door adiabatische koeling de temperatuur 10°C gekoeld worden. Dit betekent dat de luchttemperatuur in het risicogebied komt van >20°C. In de directe adiabatische koelmachines zal dus goed gekeken moeten worden naar regelingen ter voorkoming van de groei van de legionellabacterie.

Bij indirecte adiabatische koeling zijn er, zoals eerder beschreven, een primaire en secundaire luchtstroom. De secundaire luchtstroom die bevochtigd wordt, gaat door een gesloten warmtewisselaar en wordt vervolgens naar buiten geblazen. De toevoerkanalen die naar de diverse roosters in het gebouw gaan, komen niet in aanraking met de bevochtigde lucht. Het gevolg is dat in het gebouw zelf geen kans is op de legionellabacterie in de luchtkanalen. In de bevochtigde lucht die in het gebouw uitgeblazen wordt, is wel een kans aanwezig op de legionellabacterie. In de ontwikkelde systemen zit voor het afblaasrooster een druppelvanger. Deze druppelvanger zorgt dat een groot gedeelte van het vocht uit de lucht wordt gehaald. In het ontwerp bij het toepassen van adiabatische koeling zal goed opgelet moeten worden waar de afvoerrooster naar buiten geplaatst worden. Deze maatregel is belangrijk om de kans op besmetting met de legionellabacterie bij passerende mensen zo klein mogelijk te houden.

Deel 2: Onderzoek basisschool

6. Case basisschool

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten van de basisschool beschreven. De uitgangspunten welke vermeld zijn in dit hoofdstuk zullen als leidraad gelden voor de gemaakte berekeningen m.b.t. adiabatische koeling.

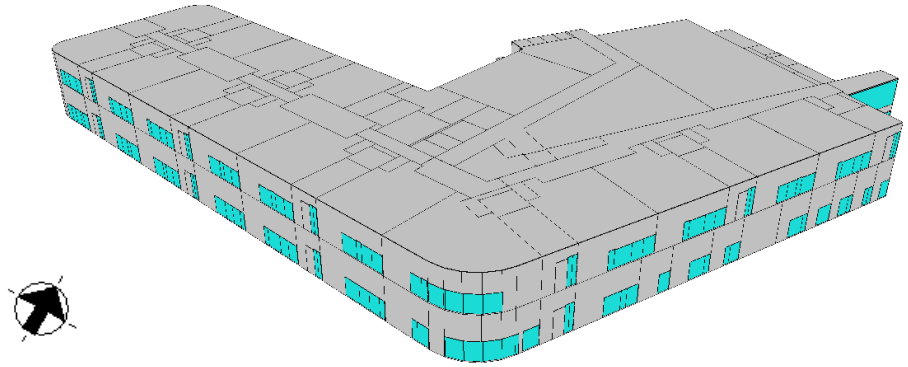
6.1. Uitgangspunten basisschool

Om tot de juiste conclusie te komen m.b.t. adiabatische koeling is een referentiebasisschool geselecteerd. De geselecteerde basisschool is gesitueerd in de plaats Etten-Leur en weergegeven in figuur 8. Het is een bestaande basisschool met daarin de klimaatinstallaties geadviseerd door Huygen Installatie Adviseurs. Een overweging in die tijd (2009) was het toepassen van indirecte adiabatische koeling in een luchtbehandelingskast. Door de hoge exploitatiekosten is toendertijd besloten om de basisschool niet te voorzien van een koelinstallatie. De vragen bij Huygen Installatie Adviseurs bleef echter; hoeveel uren is het mogelijk om adiabatische koeling toe te passen voor deze basisschool en eventueel ander gelegen basisscholen in Nederland? Is het toepassen van een systeem met adiabatische koeling t.o.v. een conventioneel koelsysteem qua exploitatie aantrekkelijker?

Om antwoord te krijgen op bovenstaande vragen worden de volgende stappen doorlopen:

1. bepalen van de bouwkundige gegevens van de basisschool;
2. vaststellen van de installatie uitgangspunten van de basisschool;
3. onderzoeken onder welke buitencondities adiabatische koeling toepasbaar is;
4. onderzoeken hoeveel uren per jaar adiabatische koeling toegepast kan worden voor de basisschool met vier weken zomervakantie en een situatie waarbij de basisschool open blijft;
5. Bepalen in Vabi 114 hoeveel koelvermogen minimaal nodig is voor één klaslokaal;
6. uitkomsten van Excel berekeningen van het aantal uren dat adiabatische koeling toepasbaar is, indien mogelijk vergelijken met Vabi 114;
7. berekenen van het aantal uren per jaar dat adiabatische koeling toepasbaar is bij diverse metingen van KNMI stations in Nederland;
8. exploitatiekosten berekenen van een adiabatisch- en een vergelijkbaar conventioneel koelsysteem;
9. berekenen van de terugverdientijd en netto contante waarde van een adiabatische t.o.v. een conventioneel koelsysteem.

De basisschool in Etten- Leur bestaat uit twee verdiepingen, onderverdeeld in meerdere lokalen, toiletruimten, spreekkamers en een gymzaal met diverse kleedruimten. De exacte plaats van de ruimtes zijn weergegeven in de bouwkundige tekeningen in bijlage D. In figuur 8 wordt de basisschool in Etten-Leur weergegeven in 3d.



Figuur 8, referentie basisschool

Uit deel één, het theoretische onderzoek, is gebleken dat er verschillende systemen gebruik maken van adiabatische koeling. Indirecte adiabatische koeling in een luchtbehandelingskast t.b.v. de basisschool is de meest geschikte optie qua exploitatiekosten en gebruik m.b.t. de basisschool. Een koeltoren die gebruik maakt van adiabatische koeling heeft een te groot koelvermogen voor de basisschool [*mondeling 3*].

6.1.1. Bouwfysische elementen

Voor het maken van diverse berekeningen m.b.t. het bepalen van het minimaal benodigd koelvermogen wordt gebruik gemaakt van één klaslokaal. Het BVO van één klaslokaal is 53,2m². Het klaslokaal heeft een lengte en breedte van 7,2 bij 7,8 meter. De hoogte vanaf de vloer tot aan het verlaagde plafond is 2,6 meter. De hoogte inclusief verlaagd plafond is 3,6 meter. Het raamoppervlak bestaat uit 5,5m². De ramen zijn voorzien van buitenzonwering met automatische schakeling. De opbouw van de constructie en de bouwkundige gegevens zijn weergegeven in bijlage D.

6.1.2. Interne warmtelast

Voor de interne warmtelast van de klaslokalen wordt met de volgende uitgangspunten rekening gehouden:

- 29 leerlingen en één leraar per klaslokaal;
- verlichting met een geïnstalleerd vermogen van 10W/m²;
- warmteafgifte leerlingen:
    - activiteit: rustend, lichte (kantoor) werkzaamheden 85W;
    - Clo waarde zomer 0,7 en in de winter 0,9;
    - connectief deel van 50%.
- apparatuurgegevens:
    - 4 pc's met een geïnstalleerd vermogen per apparaat van 100W;
    - 1 smartboard met een geïnstalleerd vermogen van 100W.

6.1.3. Installatie uitgangspunten

Een behaaglijke binnentemperatuur van een klaslokaal is 20°C. De binnentemperatuur in een klaslokaal wordt gerealiseerd d.m.v. de verse toevoerlucht te verwarmen of te koelen. De luchtbehandelingskast is gesitueerd in de technische ruimte van de basisschool. Indien er een tekort aan verwarmingsvermogen is wordt dit opgevangen met het toepassen van radiatoren. Deze radiatoren werken op een temperatuurtraject van 60-40°C. Onderzocht wordt of het koelen van het klaslokaal gerealiseerd kan worden d.m.v. indirecte adiabatische koeling geïntegreerd in de luchtbehandelingskast. Het eventuele tekort aan koelvermogen wordt opgevangen door mechanische koeling. Het minimale luchtdebiet van de toe- en afvoerroosters in één klaslokaal is 900m³/h. De luchtbehandelingskast heeft een totaal luchtdebiet van 20.000m³/h zowel qua toevoer- als retourdebiet.

De bedrijfstijden van de klimaatinstallaties zijn van maandag t/m vrijdag van 7:00 uur tot 18:00 uur. De klimaatinstallaties staan stand-by buiten deze bedrijfstijden.

6.2. Case Vabi 114 gebouwsimulatie

Met behulp van Vabi 114 gebouwsimulatie (TO berekening) wordt berekend hoeveel uren in een jaar een ruimte boven de gewenste ruimtetemperatuur is geweest [*internetbron 14*]. De eventuele overschrijdingsuren geven van een specifieke ruimte een tekort aan verwarming- of koelvermogen weer. Aan de hand van de berekening kan vastgesteld worden of de geadviseerde klimaatinstallatie voldoet aan de eisen van de opdrachtgever. De TO tabblad is berekend over het klimaatjaar 1964, met de klimaatgegevens van KNMI station de Bilt. In Vabi 114 was dit het enige klimaatjaar waaruit gekozen kan worden binnen Huygen Installatie Adviseurs.

Volgens de richtlijnen van de Rijksgebouwendienst dienen overschrijdingsuren in het klaslokaal bij 25°C onder de 200 uren te blijven, en bij een temperatuur van 28°C onder de 40 uren [*internetbron 15*]. Bij de TO berekening is gekozen voor de uitgangspunten m.b.t. de overschrijdingsuren. In deze situatie wordt gekeken hoeveel uren de geselecteerde klimaatinstallatie boven de gestelde uren van de rijksgebouwdienst vallen. Wanneer een klimaatinstallatie in een betreffende ruimte minder dan 200 uren boven de 25°C per jaar valt, en 40 uur onder de 28°C voldoet de geselecteerde klimaatinstallatie. Een andere uitkomst die het programma genereert zijn de gewogen onder- en overschrijdingsuren. Deze waarden zijn afhankelijk van de PMV. De PMV is afhankelijk van verschillende factoren waaronder de CLO- waarde en metabolisme. In een schoolgebouw variëren deze gegevens per uur. De gevolgen hiervan zijn dat de gewogen onder- en overschrijdingsuren afhankelijk zijn van de ingevoerde PMV factoren. Om deze reden is gekozen om de klimaatinstallatie te toetsen aan de overschrijdingsuren volgens de richtlijnen van de Rijksgebouwendienst.

Om de haalbaarheid van de klimaatinstallatie met adiabatische koeling te onderzoeken is een TO berekening van één klaslokaal gemaakt. In het Vabi 114 programma bestaat de mogelijkheid om directe adiabatische koeling toe te passen. Het rood gearceerde klaslokaal in figuur 9 wordt op vier verschillende mogelijkheden berekend, namelijk:

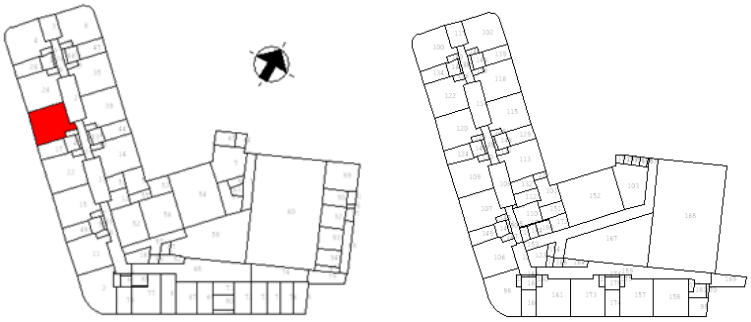
1. de eerste berekening geeft overschrijdingsuren weer bij het niet toepassen van een koelinstallatie;
2. de tweede berekening geeft aan hoeveel mechanische koeling in het klaslokaal nodig is om aan de gestelde overschrijdingsuren te voldoen;

3. de derde berekening geeft de resultaten weer over het toepassen van directe adiabatische koeling;
4. de vierde berekening geeft de resultaten weer bij welk mechanisch koelvermogen in combinatie met directe adiabatische koeling voldaan wordt aan de gestelde overschrijdingsuren van de Rijksgebouwendienst.

Het Vabi programma beschikt niet over de mogelijkheid tot het invoeren van indirecte adiabatische koeling. Om te onderzoeken of het mogelijk is om reële uitkomsten te genereren met Vabi 114 worden de volgende twee manieren onderzocht:

1. Het genereren in Vabi 114 van diverse daguitdraaien met als koelsysteem directe adiabatische koeling. De uitkomsten met de benodigde koelenergie vergelijken in het Excel bestand 'spreadsheet', beschreven in hoofdstuk 7. Uit dit vergelijk onderzoeken of er een verband bestaat tussen de uitkomsten van de Vabi 114 berekening en het Excel bestand 'spreadsheet'.
2. De fabrikant Menerga heeft als uitgangspunt dat de primaire luchtstroom d.m.v. indirecte adiabatische koeling van 30°C naar 22°C kan koelen [*internet 5*]. De lucht wordt vervolgens naar de gewenste inblaasconditie gekoeld d.m.v. mechanische koeling. In Vabi 114 zal onderzocht worden of het mogelijk is om het benodigde mechanische koelenergie uit te rekenen wanneer de buitenluchttemperatuur onder de 22°C is. Het verschil in koelenergie tussen het toepassen van geen koeling en mechanische koeling onder de 22°C geeft de benodigde koelenergie weer door indirecte adiabatische koeling. Als voorbeeld is het proces aangegeven in het Mollier-diagram in bijlage H.

Voor de te maken Vabi 114 berekeningen is één klaslokaal geselecteerd. Het berekende klaslokaal is in het rood weergegeven in figuur 9. De buitengevel van het berekende klaslokaal is gericht op het zuid-westen.



Figuur 9, overzicht berekend lokaal in basisschool begane grond en 1e verdieping

De resultaten van de diverse berekeningen die gebruik maken van directe adiabatische koeling, zijn weergegeven in paragraaf 7.3.

7. Toepasbaarheid van adiabatische koeling

De verschillende berekeningen, die opgesteld zijn in Excel m.b.t. adiabatische koeling, worden in dit hoofdstuk verder toegelicht. De uitgangspunten uit hoofdstuk zes van de basisschool gelden daarbij als leidraad. In bijlage E is een handleiding toegevoegd m.b.t. de werking en het gebruik van de Excel bestanden. Er zijn twee bestanden. Één Excel bestand genaamd 'spreadsheet', rangschikt voor een willekeurig jaar het aantal uren dat het een bepaalde buitentemperatuur, relatieve vochtigheid en absoluut vochtgehalte is geweest. Het tweede Excel bestand genaamd 'berekening adiabatische koeling' berekent twee diverse manieren van adiabatisch koelen, namelijk direct en indirect. De uitkomsten van het programma geven daarbij een overzicht van de gemaakte energiekosten weer d.m.v. adiabatische koeling. Naast de Excel berekeningen wordt adiabatische koeling in het programma Vabi 114 geïmporteerd. Vabi 114 rekent het aantal uren uit dat het met een bepaalde klimaatinstallatie boven of onder een bepaalde ruimtetemperatuur is geweest. Diverse manieren van invoeren in Vabi 114 m.b.t. adiabatische koeling worden beschreven in hoofdstuk zes. In onderstaande paragrafen worden de berekeningen en uitkomsten beschreven.

7.1. Berekening Excel bestand spreadsheet

Het Excel bestand 'spreadsheet' geeft de gebruiker de mogelijkheid om over een willekeurige tijd het aantal uren te berekenen dat het een bepaalde buitentemperatuur, relatieve vochtigheid en absoluut vochtgehalte is geweest. De klimaatgegevens dienen gedownload te worden via de website http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/select_uur.cgi?language=nl. Op deze website kunnen klimaatgegevens van diverse jaren en klimaatstations worden gedownload. Het bestand van de KNMI kan vervolgens worden ingelezen in het betreffende Excel bestand. De te volgen stappen op welke wijze dit moet gebeuren, worden weergegeven in de handleiding in bijlage E. Wanneer de gewenste klimaatgegevens zijn ingelezen in het tabblad 'inblaasgegevens KNMI station', bestaat de mogelijkheid om randvoorwaarden van het gebouw aan te geven. De randvoorwaarden zijn de openingstijden en de dagen dat de klimaatinstallatie niet in gebruik is.

Zoals in hoofdstuk zes is aangegeven zijn de klimaatinstallaties van maandag t/m vrijdag van 7:00 uur tot 18:00 uur in gebruik. Buiten deze bedrijfstijden zal de klimaatinstallatie stand-by staan. In het tabblad 'ruimtegegevens' kunnen deze bedrijfstijden worden aangegeven. In de weekenden zal de basisschool gesloten zijn. In het eindresultaat zijn de uurgegevens in het weekend en in de stand-by situatie niet meegenomen. De uitkomst geeft een realistisch beeld van hoeveel uur het een bepaalde buitenconditie is geweest, over de gebruikersperiode van de klimaatinstallatie.

In onderstaand figuur 10 wordt weergegeven hoeveel uren in het jaar 2011 het een bepaalde buitentemperatuur en RV is geweest. Hierin zijn de buitencondities op de zondag, zaterdag en voor en na de openingstijden/ gebruikerstijden niet mee genomen. Met de eventuele vakanties wordt geen rekening gehouden. Veel basisscholen zijn in de zomer ongeveer 4 tot 6 weken gesloten. De klimaatinstallatie zal op dat moment in stand-by staan. Het invoeren van een vakantie behoort tot de mogelijkheden van het Excel bestand 'spreadsheet'. In paragraaf 7.2 wordt beschreven hoeveel uren per jaar adiabatische koeling mogelijk is met en zonder zomervakantie bij diverse metingen van KNMI stations.

x → g/kg

°C / T	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0				
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1				
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0				
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0				
29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1				
28	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0				
27	0	0	0	0	0	2	2	1	1	0	2	1	0	0	0	1	0			
26	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5	2	6	0	4	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	1	1	1	1	6	8	4	4	1	2	1	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	17	2	4	0	5	12	8	4	2	1	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	3	4	4	4	5	9	7	6	9	2	0	1	0	0	0		
22	0	0	0	2	3	6	9	9	13	8	7	7	10	2	0	0	0			
21	0	0	0	1	2	7	11	11	22	21	9	7	3	2	0	0				
20	0	0	0	0	9	8	19	24	19	27	16	8	5	7	0					
19	0	0	0	1	8	9	11	13	41	11	34	10	14	0						
18	0	0	0	0	6	10	25	30	42	24	23	21	1							
17	0	0	0	1	3	8	38	32	66	31	37	5								
16	0	0	0	0	6	8	19	53	54	26	19	4								
15	0	0	0	6	10	12	30	36	47	26	1									
14	0	0	4	7	9	7	21	35	56	39										
13	0	0	4	3	12	8	15	20	33	32										
12	0	1	1	4	8	24	6	26	25											
11	0	1	0	5	12	27	16	47												
10	0	0	2	6	10	43	36	58												
9	0	0	1	1	23	34	31	50												
8	0	3	3	2	34	60	47													
7	0	1	3	21	51	55														
6	0	1	3	10	32	86														
5	0	2	2	20	83															
4	0	1	1	10	74															
3	0	0	6	8	53															
2	0	0	11	60																
1	0	1	20	34																
0	0	0	13	27																
-1	33																			
-2	16																			
-3	9																			
-4	4																			
-5	0																			
-6	1																			
-7	0																			
-8	0																			
-9	0																			
-10	0																			

uren/ jaar

φ= 50%

φ= 100%

Project:
gebouwfunctie: **Basisschool**
Berekeningsjaar: **2011**
Openingstijden: **7 t/m 18 uur**
Gesloten: **zondag**
zaterdag
KNMI station: **Gilze Rijen**

Mollier t/ x- diagram
Overzicht uren/ jaar bij verschillende buitencondities

Huygen
INSTALLATIE ADVISEURS

Figuur 10, overzicht aantal h/a met een specifieke buitenconditie

Met behulp van het Excel bestand 'spreadsheet' bestaat de mogelijkheid om van elk gemeten jaar door de KNMI de buitencondities te bepalen. De uitkomsten in figuur 10 geven daarbij inzicht in hoeveel uren adiabatische koeling toegepast kan worden, waar gelet moet worden op het selecteren van het aantal uren dat geschikt is voor adiabatische koeling. Dit wordt beschreven in paragraaf 7.2.

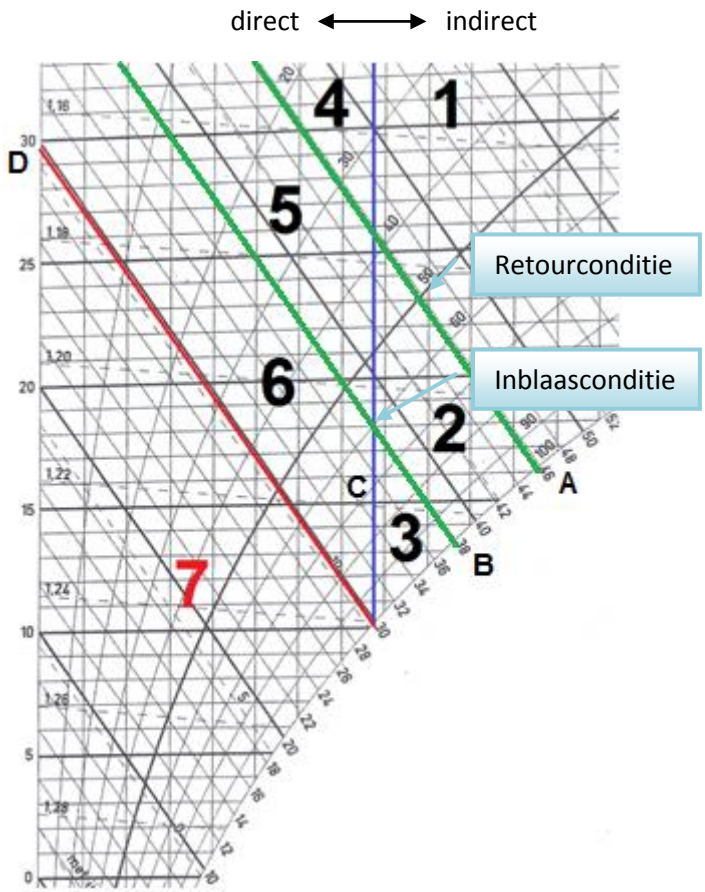
7.2. Berekening adiabatische koeling

7.2.1. Toepassingsgebieden adiabatische koeling in het Mollier-diagram

Om de bespaarde elektrische energie te bepalen die d.m.v. adiabatische koeling wordt gerealiseerd, is het van belang te weten wanneer dit principe toegepast kan worden. Zoals eerder in dit verslag is beschreven kan het principe plaats vinden via directe en indirecte adiabatische koeling. De manier waarop adiabatische koeling toegepast wordt, is afhankelijk van de retourconditie uit het vertrek en de inblaastemperatuur. Met behulp van deze condities wordt het Mollier-diagram in zeven gebieden verdeeld. Elk gebied geeft daarbij aan of, en zo ja, op welke manier energie bespaard kan worden d.m.v. adiabatische koeling, mechanische koeling of vrije koeling. In de zomer zijn voor de basisschool de volgende uitgangspunten aangehouden:

- retourconditie uit het vertrek: 23°C/ RV 50%
- inblaasconditie: 18°C

Met deze gegevens is de verdeling van de zeven gebieden in figuur 11 van het Mollier-diagram weergegeven [*mondeling 4*].



1= Indirecte adiabatische koeling, mechanische koeling en eventuele ontvochtigen.

2= Gedeeltelijke vrije koeling en ontvochtigen.

3= Volledige vrije koeling en ontvochtigen.

4= Directe adiabatische koeling en mechanische koeling.

5= Gedeeltelijke vrije koeling en directe adiabatische koeling

6= Volledige vrije koeling en directe adiabatische koeling.

7= Verwarmen, vrije- en directe adiabatische koeling.

Figuur 11, verdeling gebieden adiabatische koeling in Mollier-diagram

De verdeling van de zeven gebieden vindt plaats door een rechte lijn A en lijn B te tekenen vanaf de retour- en inblaasconditie langs de enthalpie lijn. Bij de inblaascondities teken je vervolgens een verticale lijn C. De absolute vochtigheid blijft constant bij lijn C. Gebied zeven wordt bepaald door de enthalpie lijn D te volgen vanaf de natte boltemperatuur van de verticale lijn C van de inblaasconditie. De wijze waarop de luchtbehandelingskast in één van de zeven gebieden werkt wordt weergegeven in bijlage F.

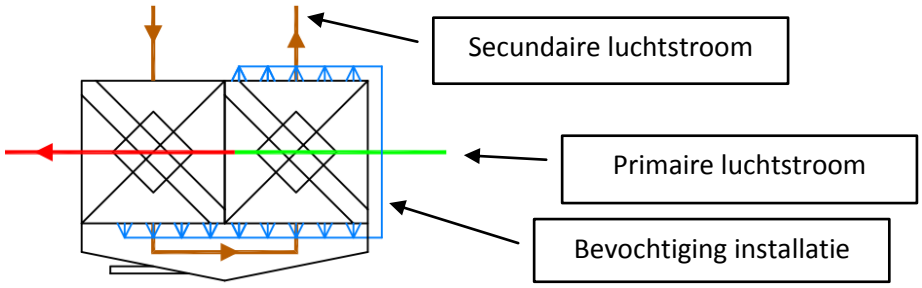
Door het verdelen van de gebieden kan met behulp van de gegevens uit de Figuren 10 en 11 bepaald worden hoeveel uren in het jaar adiabatische koeling toegepast kan worden. Directe adiabatische koeling wordt toegepast in de gebieden vier, vijf en zes. De buitenlucht wordt, via de adiabaatlijn, gekoeld tot het juiste vochtgehalte bereikt is. De gewenste inblaastemperatuur wordt bereikt door de gekoelde lucht mechanisch na te koelen. Wanneer directe adiabatische koeling plaats vindt in de gebieden één, twee of drie is het niet meer mogelijk de gewenste inblaasconditie te realiseren door alleen adiabatische koeling. Indirecte adiabatische koeling is mogelijk in gebied één. Dit komt doordat de buitenlucht warmer is dan de verzadigde retourlucht uit de ruimte. Het gevolg hiervan is dat het energiebesparende effect van de warmtewisselaar verhoogd wordt. Wanneer de retourconditie van de lucht een hogere RV en temperatuur heeft dan de buitenconditie, dan zal de buitenlucht in de warmtewisselaar opwarmen. In de winter zal deze situatie voordelig zijn, maar in de zomer wanneer koeling nodig is, wordt dit energieverlies.

Omdat het toepassen van indirecte adiabatische koeling afhankelijk is van de retourlucht uit de ruimte, is het moeilijk via een berekening vast te stellen hoeveel uren in een bepaald jaar indirecte adiabatische koeling mogelijk is. De oorzaak ligt hier in het feit dat de retourlucht afhankelijk is van diverse factoren, namelijk de retourtemperatuur en de RV. De lucht wordt de ruimte ingeblazen met een regelbare inblaasconditie. Deze lucht wordt in de ruimte opgewarmd d.m.v. interne- en externe warmtelasten. Deze condities verschillen constant, wat ervoor zorgt dat de retourconditie telkens op een ander punt in het Mollier-diagram ligt. De buitenconditie verandert daarbij ook constant en is aangegeven in figuur 10. Door de temperatuurschommeling verandert het opgeleverde koelvermogen constant. Bij de gemaakte berekeningen wordt daarom uitgegaan van de genoemde retour- en inblaasconditie, in ogenschouw nemende dat dit elk moment kan variëren.

7.2.2. Berekenen van indirecte adiabatische koeling

In het tabblad 'indirecte adiabatische koeling' van het Excel bestand 'berekening adiabatische koeling' wordt aan de hand van statische waarden de energiekosten en –besparingen berekend. Bij de berekening is het van belang dat de buiten- en retourlucht condities opgegeven zijn.

Bij indirecte adiabatische koeling wordt de secundaire luchtstroom bevochtigd voor en onder de kruisstroomwisselaar zoals aangegeven is in figuur 12. Het gevolg hiervan is dat de luchttemperatuur door de bevochtiging lager wordt via de adiabaatlijn en daardoor warmte opneemt van de primaire luchtstroom. Bij de basisschool is vastgesteld dat de retourlucht uit de ruimte 23°C/ RV 50% is. Deze conditie zal na de warmte uitwisseling (adiabatische bevochtiging) ongeveer 16°C/ RV 95% zijn. Om de uitgaande primaire luchtstroom te berekenen is een aanname gemaakt dat in de laatste 10% van de kruisstroomwisselaar geen adiabatische koeling plaats vindt. Dit komt doordat de lucht niet van alle in- en uitgangen in de kruisstroomwisselaar wordt bevochtigd, zoals aangegeven in figuur 12.



Figuur 12, kruisstroomwisselaar

Als voorbeeld is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

Rendement kruisstroomwisselaar:	80%
Vaste buitenluchtcondities:	30°C/ RV 50%
Luchtverversing klaslokaal:	900m³/h

De primaire luchtstroom temperatuur op 90% van de kruisstroomwisselaar wordt:

$$Tprim\ 90\% = T_b \cdot ((T_b - T_{k90\%}) \cdot \eta_k \cdot K_{\%}$$ [*Formule 1*]

$$Tprim\ 90\% = 30 \cdot ((30 - 16) \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9$$

$$Tprim\ 90\% = 20°\mathrm{C}$$

Waarin:

$Tprim\ 90\%$	= primaire luchttemperatuur op 90 % van de kruisstroomwisselaar	[°C]
T_b	= buitenluchttemperatuur	[°C]
$T_{k90\%}$	= luchttemperatuur op 90% van de kruisstroomwisselaar	[°C]
η_k	= rendement kruisstroomwisselaar	[%]
$K_{\%}$	= lengte van de kruisstroomwisselaar waarover de luchttemperatuur wordt berekend	[%]

Zoals eerder is beschreven wordt in de laatste 10% de primaire luchtstroom in de kruisstroomwisselaar een klein gedeelte opgewarmd. De opwarming vindt plaats op het contactoppervlak tussen de warmere secundaire luchtstroom en primaire luchtstroom. De opwarming van de lucht in de kruisstroomwisselaar wordt berekend met onderstaande formule:

$$Tprim\ 10\% = \left(T_{retour} - T_{prim\ 90\%}\right) \cdot \eta_k \cdot K_{\%}$$ [*Formule 2*]

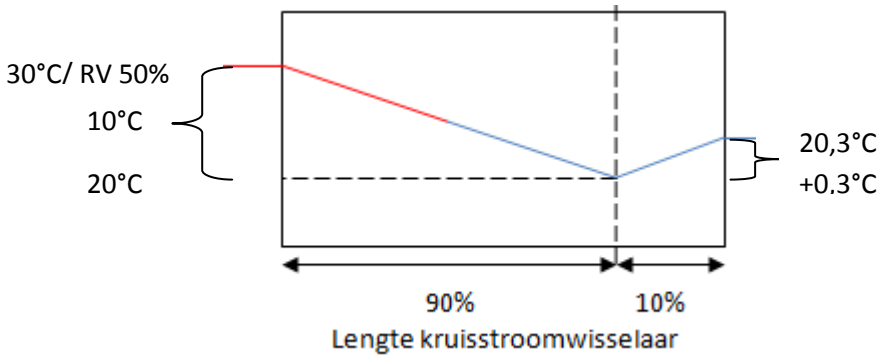
$$Tprim\ 10\% = (23 - 20) \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}1$$

$$Tprim\ 10\% = 0{,}3°\mathrm{C}$$

Waarin:

$Tprim\ 10\%$	= primaire luchttemperatuur in de laatste 10% van de kruisstroomwisselaar	[°C]
$Tprim\ 90\%$	= primaire luchttemperatuur op 90 % van de kruisstroomwisselaar	[°C]
T_{retour}	= retourluchttemperatuur uit de ruimte	[°C]
η_k	= rendement kruisstroomwisselaar	[%]
$K_{\%}$	= lengte van de kruisstroomwisselaar waarover de luchttemperatuur wordt berekend	[%]

De uiteindelijke primaire luchttemperatuur uit de kruisstroomwisselaar is: 20°C + 0,3°C= 20,3°C. Ter verduidelijking wordt de primaire luchtstroom in de kruisstroomwisselaar aangegeven in figuur 13. De primaire luchttemperatuur wordt na de kruisstroomwisselaar nog ongeveer 0,5°C opgewarmd t.g.v. de ventilator, waardoor de uiteindelijke uitgaande luchttemperatuur 20,8°C wordt.



Figuur 13, primaire luchtstroom in kruisstroomwisselaar

Wanneer de buitenluchtconditie verandert, zal de uiteindelijke gekoelde temperatuur door adiabatische koeling variëren. De primaire luchttemperatuur na de kruisstroomwisselaar kan eventueel d.m.v. mechanische koeling naar de gewenste inblaasconditie gekoeld worden.

Het bespaarde koelvermogen door indirecte adiabatische koeling wordt berekend m.b.v. de formule:

$$P = q_v \cdot \rho \cdot \Delta h$$ [*Formule 3*]

Waarin:

P	= vermogen	[kJ/s]
q_v	= volumestroom	[m³/s]
ρ	= soortelijke massa	[kg/m³]
h	= (soortelijke) enthalpie	[kJ/kg]

De besparing in koelvermogen bij de genoemde condities voor één klaslokaal zijn:

$$P = 0{,}3 \cdot 1{,}2 \cdot (64{,}2 - 54{,}3) = 3\ kW$$

Om de besparing in kilowatt uur uit te drukken, is het van belang te weten hoeveel uren deze buitenconditie voorkomt in de gewenste periode. Het aantal uren kan uit figuur 10 uren mollier bepaald worden of geselecteerd worden in het tabblad h-a mollier gegevens in het Excel bestand 'berekening adiabatische koeling'. De elektriciteitsprijs die aangehouden wordt in de berekeningen is €0,13 per kWh. Deze prijs is opgebouwd uit de vaste tariefkosten van de leverancier en de wettelijke energiebelasting [internetbron 13]. De hoogte van de energiebelasting is afhankelijk van het elektriciteitsverbruik. Voor de basisschool wordt uitgegaan van de tarieven voor grootgebruik. De berekening voor het bepalen van de hoogte van de elektriciteitsprijs is weergegeven in bijlage G. De bespaarde energiekosten kunnen over een willekeurige periode bepaald worden m.b.v. formule 4. De bespaarde koelenergie is daarbij het direct bespaard elektriciteitsvermogen. Dit komt doordat adiabatische koeling geen gebruik maakt van een mechanische koelmachine.

$€_{elektra} = €_{kWh} \cdot P \cdot h$ [*Formule 4*]

Waarin:

$€_{elektra}$	= totale kosten verbruik elektriciteit	[€]
$€_{kWh}$	= elektriciteitskosten per kWh	[€/ kWh]
P	= benodigd vermogen elektriciteit	[kW]
h	= benodigd aantal uren elektriciteit	[h]

Bij het toepassen van adiabatische koeling worden niet alleen kosten bespaard. De bijkomende kosten bij dit proces zijn extra energiekosten t.g.v. de extra benodigde ventilatoren energie, watergebruik en afvoerkosten van het water.

Het waterverbruik wordt bepaald m.b.v. de secundaire luchtstroom. Hierbij wordt het verschil in absolute vochtgehalte bepaald m.b.v. het Mollier-diagram. Het totale waterverbruik over een bepaalde periode wordt bepaald met formule 5.

$Waterverbruik = \frac{\dot{m} \cdot h \cdot (x2 - x1) \cdot 3{,}6}{1.000}$ [*Formule 5*]

Waarin:

$Waterverbruik$	= verbruik aan water d.m.v. adiabatische koeling	[m³]
$\dot{m}$	= massastroom	[kg/s]
h	= aantal uren adiabatische bevochtiging	[h]
x	= absolute vochtigheid	[g/kg]

In de plaats Etten-Leur zijn de waterkosten € 1,16 per m³ [*internet 10*]. De totale waterkosten worden bepaald met formule 6.

$€_{water} = 1{,}16 \cdot waterverbruik$ [*Formule 6*]

Waarin:

$€_{water}$	= waterkosten over de gewenste periode	[€]
$Waterverbruik$	= verbruik aan water d.m.v. adiabatische koeling	[m³]
1,16	= waterkosten in de provincie Noord-Brabant	[€/ m³]

De totale energiekosten/ -besparingen die indirecte adiabatische koeling oplevert bij de basisschool in de plaats Etten-Leur worden beschreven in hoofdstuk 10.

De primaire luchttemperatuur uit de kruisstroomwisselaar door adiabatische koeling is zoals eerder vermeld 20,3°C. Mechanische koeling zorgt vervolgens dat de temperatuur naar 16°C wordt geregeld. Het vermogen dat voor de, in dit geval mechanische koeling nodig is, wordt berekend met formule 3. Het benodigde mechanisch vermogen om de inblaastemperatuur op 16°C te regelen is:

$P = 0{,}3 \cdot 1{,}2 \cdot (54{,}3 - 42) = 4{,}5\ kW$

Bij de buitenconditie 30°C/ RV 50%, en een gewenste inblaastemperatuur van 16°C zijn de volgende koelvermogens beschreven, welke gerealiseerd worden door indirecte adiabatische- en mechanische koeling.

Bespaard koelvermogen indirecte adiabatische koeling:	3	kW
Benodigd koelvermogen mechanische koeling:	4,5	kW

In bijlage H is de adiabatische- en mechanische koeling weergegeven in het Mollier-diagram.

7.3. Resultaten case Vabi 114 gebouwsimulatie

In het programma Vabi 114 is als eerst directe adiabatische koeling ingevoerd. Dit is gedaan volgens de vier beschreven methoden in paragraaf 8.3. De resultaten m.b.t. directe adiabatische koeling worden weergegeven in tabel 1.

Mogelijk-heid	Koelinstallatie	Ongewogen overschrijding bij 25°C in uren	Ongewogen overschrijding bij 28°C in uren	Geïnstalleerd koelvermogen in Watt
1	geen	507	118	[-]
2	mechanisch	200	14	1.320
3	adiabatisch	312	30	[-]
4	adiabatisch en mechanisch	200	7	450

Tabel 1, uitkomsten diverse TO berekeningen

Wanneer in het klaslokaal alleen directe adiabatische koeling wordt toegepast, zal het klaslokaal boven de gestelde eis qua overschrijdingsuren vallen (mogelijkheid drie), volgens Vabi 114. In het klaslokaal zal mechanische koeling nodig zijn om aan de eis te voldoen. Uit de resultaten uit tabel 1 is af te leiden dat wanneer directe adiabatische- en mechanische koeling wordt toegepast, er 450W in het klaslokaal nodig is voor mechanische koeling. Dit betekent dat door directe adiabatische koeling 870W geleverd wordt. Deze waarde is berekend door het verschil te rekenen tussen het ingevulde koelvermogen in mogelijkheid twee en vier.

Uit de gegenereerde TO berekening mogelijkheid vier, is de koudelevering per klaslokaal:

- directe adiabatische koeling: 4.675 kWh;
- mechanische koeling: 419 kWh.

Het aantal uren dat directe adiabatische koeling in het jaar 1964 met bovenstaande uitgangspunten toegepast kan worden is 5.375 uren. De mechanische nakoeling die ingeschakeld wordt om binnen de overschrijdingsuren te blijven is ongeveer 930 uren per jaar. Deze uitkomsten houden geen rekening met de zomervakantie van de basisschool. Met behulp van directe adiabatische koeling kan een groot gedeelte van de elektriciteitskosten bespaard worden. De kans op legionella, is op dit moment te groot om het systeem toe te passen voor een basisschool.

De TO berekeningen zijn weergegeven in bijlage I. Voor het invoeren van indirecte adiabatische koeling is mogelijkheid één m.b.t. indirecte adiabatische koeling uit paragraaf 7.3 ingevoerd. Hierbij zijn zeven verschillende data vergeleken. Bij de diverse data is het verschil bepaald tussen de berekening in Vabi 114 (directe adiabatische koeling) en Excel bestand ‘adiabatische berekeningen’

(berekening indirecte adiabatische koeling). In Vabi 114 is voor een daguitdraai gekozen, hierdoor kan per dag bepaald worden of er een verband tussen de uitkomsten in Vabi 114 en de Excel berekening is. De uitkomsten zijn weergegeven in tabel 2.

Datum	Gemiddelde temperatuur tijdens openingsuren [°C]	Aantal kWh/dag Excel bestand	Aantal kWh/dag Vabi berekening	Uitkomst % Vabi t.o.v. Excel bestand
12-5-1964	22,7	11	40	28,7
25-5-1964	23,7	7	32	5,2
12-6-1964	22,7	13	40	31,6
26-6-1964	21,9	11	36	32,1
24-7-1964	19,4	5	40	12,5
26-8-1964	26,8	21	22	[-]
04-9-1964	22,2	12	46	25,3

Tabel 2, vergelijking Vabi directe adiabatische koeling t.o.v. Excel berekening indirecte adiabatische koeling

Uit tabel 2 blijkt dat de uitkomsten in Vabi 114 niet met een constant percentage omgezet wordt naar indirecte adiabatische koeling. Vier van de zeven dagen wordt een correctie van tussen de 25% en 30% toegepast. In de overige drie dagen loopt het verschil in percentages uiteen. Door deze verschillen is het niet mogelijk een verband weer te geven, om directe adiabatische koeling uit Vabi 114 om te zetten naar indirecte adiabatische koeling. Het verschil in uitkomsten kan verklaard worden doordat Vabi andere uitgangspunten aanhoudt dan beschreven is in paragraaf 8.2.

Het invoeren van mogelijkheid zes in Vabi 114 heeft, net als mogelijkheid vijf, geen resultaten m.b.t. indirecte adiabatische koeling opgeleverd. Door het aanpassen van setpoints van de luchtbehandelingskast was het niet mogelijk om de koelinstallatie te laten werken wanneer de buitenluchttemperatuur onder de 22°C komt. Doordat er geen uitkomsten gegenereerd kunnen worden is het niet mogelijk de geleverde energie aan indirecte adiabatische koeling te bepalen met Vabi 114.

Geconcludeerd kan worden dat d.m.v. Vabi 114 nog geen realistische uitkomsten m.b.t. het toepassen van indirecte adiabatische koeling gegenereerd kunnen worden.

7.4. Ideale omstandigheden voor het toepassen van adiabatische koeling

Om een zo hoog mogelijke energiebesparing te realiseren m.b.t. indirecte adiabatische koeling zijn diverse factoren van belang. De belangrijkste factor is de buitenconditie. Wanneer de buitenconditie warm en droog is, zal het grootste koelvermogen gerealiseerd worden. In deze situatie zal (bijna) geen mechanische nakoeling nodig zijn om de gewenste inblaasconditie te realiseren.

Hoe lager de warmtelast in het gebouw is, hoe meer uren beschikbaar zijn voor indirecte adiabatische koeling. Bouwkundige voorzieningen die hiervoor getroffen kunnen worden zijn:

1. toepassen van zonneschermen;
2. klein glasoppervlak in de ruimte;
3. warmteafgifte door machines en lampen beperken.

8. Uurgegevens diverse KNMI stations

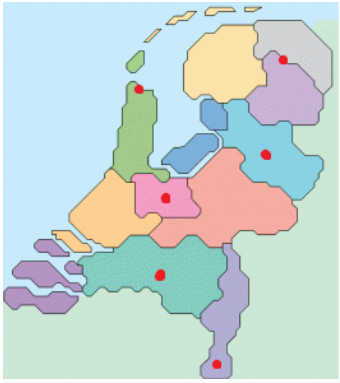
Het aantal uren dat indirecte adiabatische koeling toegepast kan worden in Nederland wordt in dit hoofdstuk beschreven. Als uitgangspunt zijn de gegevens van de basisschool aangehouden zoals vermeld staat in hoofdstuk 7. Het onderzoek naar de mogelijke uren d.m.v. adiabatische koeling wordt niet alleen onderzocht voor de basisschool te Etten- Leur. Om een breed advies te geven m.b.t. de toepasbare uren adiabatische koeling worden meerdere gemeten waarden van diverse KNMI stations onderzocht. Met deze metingen kan bepaald worden of het toepassen van adiabatische koeling in andere delen van Nederland wel of niet toepasbaar is. Daarnaast wordt een overzicht weergegeven van het aantal uren adiabatische koeling dat toegepast kan worden met en zonder zomervakantie van een basisschool.

8.1. Gemeten buitencondities van diverse KNMI stations

In Nederland zijn op dit moment 36 weerstations gesitueerd die de buitencondities van de lucht meten. Voor het onderzoeken naar de mogelijkheid van adiabatische koeling zijn zes weerstations geselecteerd in Nederland. In figuur 14 zijn de geselecteerde weerstations weergegeven met een rode stip. De locaties zijn weergegeven in tabel 3.

KNMI Meteorologische stations	Gelegen in de provincie
Eelde	Groningen
De Kooy	Noord Holland
Heino	Overijssel
De Bilt	Utrecht
Gilze Rijen	Brabant
Maastricht	Limburg

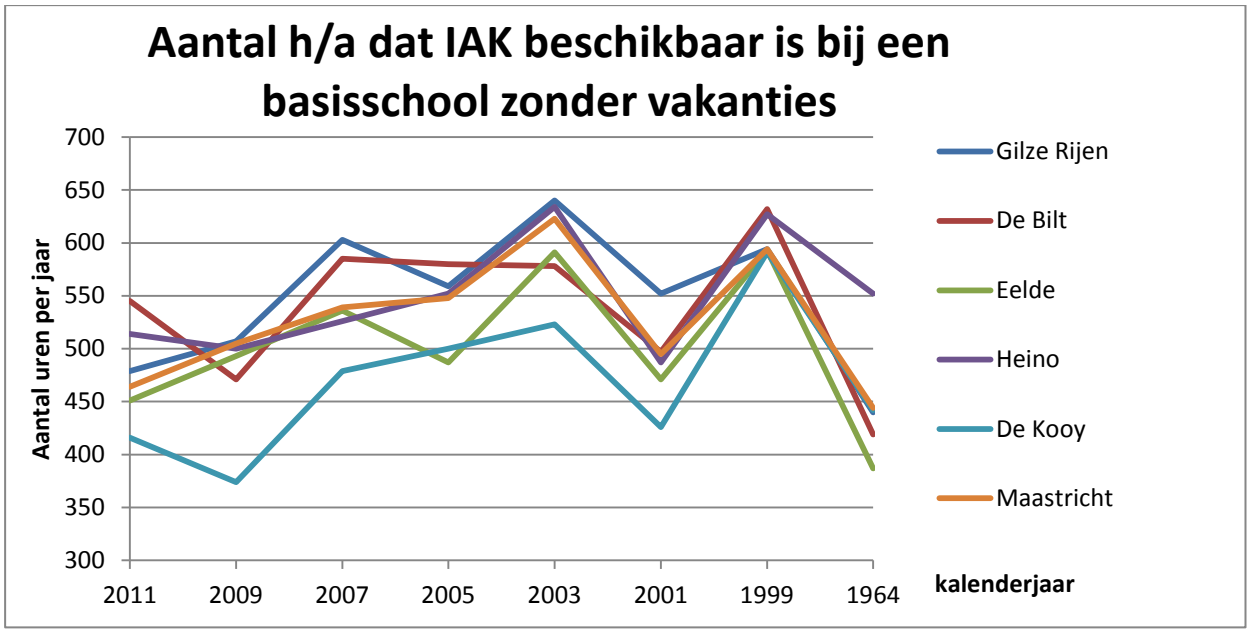
Tabel 3, overzicht berekende KNMI stations



Figuur 14, overzicht berekende KNMI stations

Over de jaren 1964, 1999 t/m 2011 zijn de klimaatgegevens ingelezen in het gegenereerde Excel bestand '*spreadsheet*'. Vervolgens is berekend d.m.v. het Mollier- diagram in te delen in zeven gebieden hoeveel uren indirecte adiabatische koeling beschikbaar is bij het betreffende weerstation.

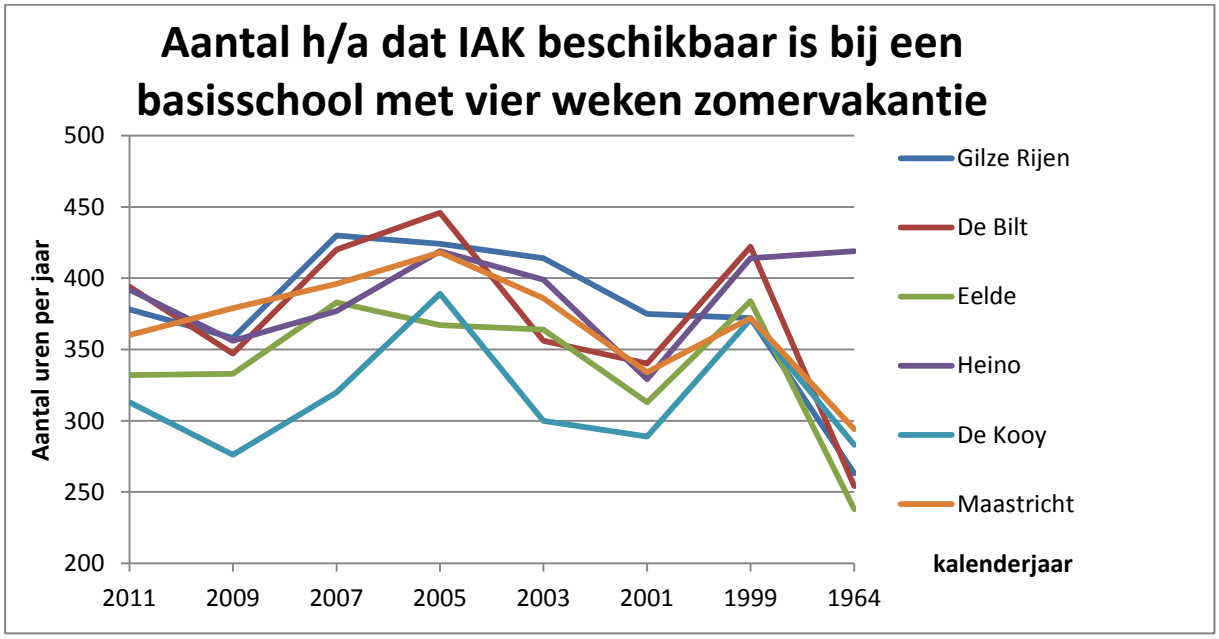
De uitkomsten van het aantal uren dat indirecte adiabatische koeling beschikbaar is, waarbij de basisschool de gehele zomer open blijft, zijn weergegeven in grafiek 1.



Grafiek 1, aantal h/a dat IAK beschikbaar is bij verschillende KNMI station

Uit grafiek één is af te leiden dat gemiddeld in Nederland ongeveer 520 uren/jaar beschikbaar zijn voor indirecte adiabatische koeling. In de noordelijke provincies Noord- Holland en Groningen zijn minder uren beschikbaar voor indirecte adiabatische koeling t.o.v. de andere provincies in Nederland. Echter bij alle plaatsen waar de buitencondities zijn gemeten bij een KNMI stations is het mogelijk om indirecte adiabatische koeling toe te passen.

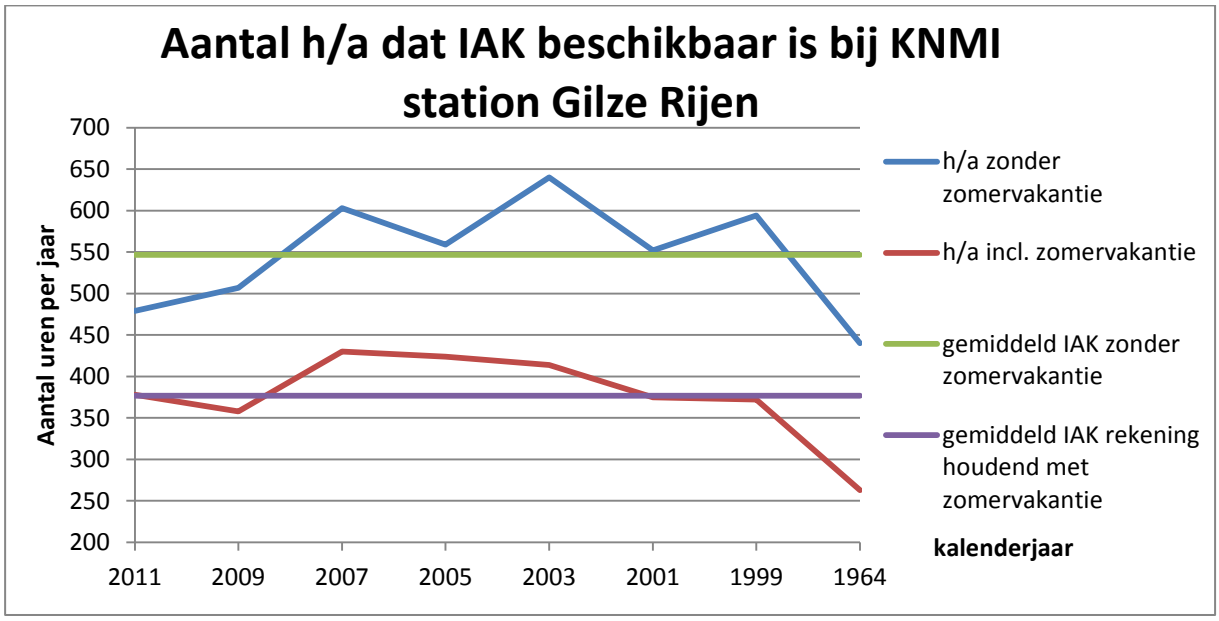
In de zomer sluiten de meeste basisscholen wegens zomervakantie. Voor diverse weerstations is de mogelijkheid naar indirecte adiabatische koeling weergegeven, waarin de basisschool vier weken gesloten is. Hierbij is als uitgangspunt genomen dat de zomervakantie van de 2^{e} week van juli tot de 2^{e} week van augustus duurt. Daarbij is geen rekening gehouden dat de scholen op diverse data, afhankelijk van de regio, vakantie hebben.



Grafiek 2, aantal h/a dat IAK beschikbaar is bij een basisschool met vier weken zomervakantie bij diverse KNMI station

Wanneer de zomervakantie wordt meegenomen in de berekening, blijkt dat indirecte adiabatische koeling nog gemiddeld 360 uren/ jaar tijdens de gebruikersperiode toegepast kan worden. Dit betekent een daling van ongeveer 160 uren/ jaar t.o.v. een gebruikersperiode zonder zomervakantie. Uitgedrukt in procenten is dit een daling van ongeveer 31 procent. De beschikbare uren zijn bij een vaste retourconditie berekend. In werkelijkheid zal de retourconditie variëren, waardoor de berekende beschikbare uren enige afwijking kunnen vertonen van de weergave in de grafieken 1 en 2. Net als in grafiek 1 geeft ook grafiek 2 aan dat in de noordelijke provincies minder uren mogelijk zijn voor indirecte adiabatische koeling. De provincies Utrecht, Overijssel, Noord-Brabant en Limburg scoren in Nederland t.o.v. andere provincies relatief positief voor het toepassen van indirecte adiabatische koeling.

De referentie basisschool uit hoofdstuk zes wordt gebouwd in de plaats Etten-Leur. Het KNMI station Gilze Rijen ligt op 25 km het dichtst in de buurt van de basisschool. Omdat de meting niet in Etten-Leur heeft plaats gevonden, kunnen de gemeten waarden afwijkingen vertonen van de werkelijke buitencondities. De uitkomsten voor de toepasbaarheid van indirecte adiabatische koeling worden weergegeven in grafiek 3.



Grafiek 3, aantal h/a dat IAK beschikbaar is bij KNMI station Gilze Rijen

De beschikbare gemiddelde uren dat indirecte adiabatische koeling bij de gestelde uitgangspunten mogelijk is, gemeten bij het KNMI station Gilze Rijen is over de aangegeven periode ongeveer 550 uren/ jaar zonder zomervakantie en 380 uren/ jaar wanneer de basisschool vier weken sluit in de zomer.

Wanneer de basisschool in een andere plaats in Nederland wordt gebouwd, zullen de bruikbare indirecte adiabatische uren ongeveer gelijk zijn in vergelijking met Gilze Rijen. In de grafieken 1 en 2 zijn de exacte uren bij diverse KNMI stations weergegeven.

Wanneer de RV van de retourlucht van 50% naar 60% gaat bij dezelfde temperatuur, dan dalen de toepasbare indirecte adiabatische koeluren met minimaal 35%. De indirecte adiabatische koeluren

zijn in tabel 4 weergegeven voor het KNMI station Gilze Rijen. De meting is daarbij verricht over het klimaatjaar 2011 bij de aangegeven openingstijden van het gebouw.

Retourtemperatuur klaslokaal [°C]	IAK waarbij de basisschool de gehele zomer geopend is			IAK waarbij de basisschool vier weken sluit in de zomer		
	RV 50%	RV 60%	verschil in uren	RV 50%	RV 60%	verschil in uren
20°C	989	640	349	708	499	209
21°C	767	490	277	588	387	201
22°C	558	352	206	476	281	195
23°C	479	309	170	386	162	224
24°C	323	141	182	294	95	199
25°C	200	90	110	147	67	80

Tabel 4, verandering indirecte adiabatische koeling bij een RV stijging van 50% naar 60%

De toepasbare uren voor directe adiabatische koeling zijn niet weergegeven. Dit komt omdat de systemen met directe adiabatische koeling op dit moment een te groot risico op legionellabacterie hebben. De eventuele uren per jaar dat directe adiabatische koeling mogelijk is in Nederland wordt weergegeven in bijlage J. Deze meting is voor dezelfde periodes en KNMI stations weergegeven als welke gebruikt zijn bij indirecte adiabatische koeling in tabel 3.

9. Exploitatie overzicht

Wanneer is een luchtbehandelingskast met adiabatische koeling t.o.v. een conventioneel systeem rendabel? Hierbij lettend op de investering en jaarlijkse variabele kosten.

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de gestelde vraag. De terugverdientijd (tvt) en netto contante waarde (ncw) zullen daarbij berekend worden bij diverse luchthoeveelheden.

9.1. Exploitatie

Om een reële vergelijking te krijgen tussen een indirect adiabatische- en een conventioneel koelsysteem zijn, voor zover mogelijk, dezelfde uitgangspunten voor de basisschool aangehouden. De uitgangspunten zijn aangehouden volgens hoofdstuk zes. De aanschafprijs voor een indirecte adiabatische luchtbehandelingskast (adsolair) zijn verkregen via de leverancier Menerga. Voor het toepassen van een conventioneel systeem is een offerte aangevraagd bij de leverancier Verhulst. Voor de ontbrekende gegevens zijn de 'vuistregels voor installatiekosten' toegepast [*literatuur 5*].

De kosten voor beide systemen zijn daarbij opgesplitst in twee onderdelen. Deze twee onderdelen zijn de investeringskosten van de luchtbehandelingskast en de jaarlijks variabele kosten van het verbruik t.b.v. de luchtbehandelingskast. Bij het berekenen van de tvt en ncw is geen rekening gehouden met de kosten voor luchtkanalen, roosters en eventuele appendages in de basisschool.

Voor indirecte adiabatische koeling zijn als variabele kosten de volgende energiekosten berekend:

- energiekosten elektra adiabatische pomp t.b.v. verpompen van het leidingwater;
- energiekosten t.b.v. het waterverbruik door adiabatische koeling;
- energiekosten eventuele mechanische nakoeling;
- energiekosten ventilatoren;
- vaste lasten rioolkosten.

Bij het berekenen van de jaarlijkse variabele kosten voor een conventioneel systeem zijn de energiekosten voor mechanische koeling, ventilatoren en de onderhoudskosten meegenomen.

Bij het bepalen van de uren voor het koelen van de basisschool wordt gebruik gemaakt van de uitkomsten uit de TO berekening uit hoofdstuk zeven. Het aantal koeluren is daarbij opgesplitst in een basisschool waar geen zomervakantie is en een basisschool rekening houdend met vier weken zomervakantie. In het vorige hoofdstuk is berekend hoeveel uren indirecte adiabatische koeling in de basisschool toegepast kan worden op basis van meetstations uit de omgeving. Wanneer het verschil tussen de benodigde koeluren en toepasbare indirecte adiabatische uren wordt berekend zijn de benodigde mechanische koeluren bekend. Een overzicht met de toegepaste uren per systeem is weergegeven in tabel 5.

Omschrijving		IAK + mechanische koeling [h/a]	mechanische koeling [h/a]
Basisschool geopend in de zomer	IAK koeluren	550	[-]
	Mechanische koeluren	317	867
Basisschool vier weken gesloten in de zomer	IAK koeluren	360	[-]
	Mechanische koeluren	290	650

Tabel 5, aantal koeluren per toegepast systeem

Met formule 7 kan de eenvoudige terugverdientijd berekend worden.

$$TVT = \frac{I}{O}$$ [*formule 7*]

Waarin:

TVT	= terugverdientijd over een bepaalde periode	[jaren]
I	= investering	[€]
O	= jaarlijkse netto opbrengsten	[€/ jaar]

Bij het hanteren van formule 7 wordt geen rekening gehouden met de stijging van eventuele energiekosten en de eventuele kasstromen die plaats vinden na de tvt. Om tot een realistische tvt te komen tussen een adiabatische- en conventioneel koelsysteem wordt de ncw berekend volgens formule 8 en formule 9.

$$NCW = -I + \sum_{y=l}^{n} \frac{B}{\alpha}$$ [*formule 8*]

Waarin:

NCW	= netto contante waarde	[€]
I	= investering	[€]
B	= besparingen	[€]
α	= annuïteit	[-]

$$\alpha = r/(1-(1+r)^{-n}$$ [*formule 9*]

Waarin:

r	= rentevoet	[%/ jaar]
n	= levensduur	[jaren]

Bij het toepassen van de ncw worden alle baten en kosten geactualiseerd naar het beginjaar van de investering. Hierbij wordt rekening gehouden met oplopende energiekosten. Bij een ncw van 0 hoort één specifieke tvt. Indirecte adiabatische koeling zal qua exploitatie voordeliger zijn t.o.v. een conventioneel systeem, wanneer de ncw groter is dan 0. Bij de gemaakte berekening is rekening gehouden met een verwachte inflatie en een elektriciteitsprijsstijging van 3% per jaar. Voor de rentevoet wordt een percentage van 7% aangehouden.

De exploitatiekosten zijn bij diverse luchthoeveelheden berekend. Een overzicht met de kosten per luchthoeveelheid en systeem zijn weergegeven in bijlage K. De weergave van de kosten zijn exclusief BTW. Voor de basisschool wordt een luchtbehandelingskast van 20.000m³/h geplaatst. De kosten, tvt en ncw worden weergegeven in tabel 6.

Omschrijving	Basisschool vier weken gesloten in de zomer		Basisschool geopend in de zomer	
	IAK en mechanische koeling	Mechanische koeling	IAK en mechanische koeling	Mechanische koeling
Jaarlijkse variabele kosten	€ 5.930,-	€ 7.100,-	€ 6.050,-	€ 8.300,-
Onderhoudskosten	€ 1.235,-	€ 1.235,-	€ 1.235,-	€ 1.235,-
Investering LBK	€ 88.000,-	€ 65.000,-	€ 88.000,-	€ 65.000,-
Eenvoudige terugverdientijd	20 jaar		11 jaar	
Netto Contante waarde				
Levensduur 13 jaar	€-17.450,-		€ -880,-	
Levensduur 14 jaar	€-16.800,-		€ 255,-	
Levensduur 20 jaar	€-12.585,-		€7.785.-	

Tabel 6, exploitatie overzicht

Uit de berekening van de ncw blijkt dat de investering van een indirecte adiabatische luchtbehandelingskast niet rendabel is wanneer de basisschool vier weken sluit in de zomervakantie. Is de basisschool geopend tijdens de zomer, dan is de investering in indirecte adiabatische koeling rendabel. In een periode van 13 á 14 jaar tijd zal de indirecte adiabatische koelsysteem terugverdiend zijn t.o.v. een conventioneel koelsysteem. Uitgaande van een levensduur van de luchtbehandeling van 15 á 20 jaar is het de vraag of investeren in een indirecte adiabatische luchtbehandelingskast rendabel is. Met de verwachte prijsstijgingen wordt na 20 jaar € 7.785,- verdiend t.o.v. een conventioneel koelsysteem. De toepasbare uren/ koelvermogens variëren per klimaatjaar, daarbij is het niet zeker wat de gevolgen van langdurig watergebruik op het materiaal van de luchtbehandelingskast is. Een gevolg hiervan kan zijn dat de onderhoudskosten hoger uitvallen dan berekend, waardoor de tvt m.b.t. adiabatische koeling hoger uitvalt.

10. Conclusie en aanbevelingen

10.1. Conclusie

Het koelen van een ruimte d.m.v. adiabatische koeling kan volgens directe- en indirecte adiabatische koeling. Bij het toepassen van directe adiabatische koeling wordt de lucht beneveld met waterdamp. Het gevolg van dit principe is dat de lucht afkoelt en een hogere relatieve vochtigheid krijgt. Het risico bij het toepassen van directe adiabatische koeling is dat bij het inblazen van de lucht mogelijk de legionellabacterie aanwezig is. Dit is een te groot risico, waardoor het koelen met directe adiabatische koeling niet geschikt is voor toepassing in een basisschool.

Bij systemen die gebruik maken van indirecte adiabatische koeling wordt de primaire luchtstroom gekoeld door de secundaire luchtstroom. De secundaire luchtstroom wordt bevochtigd met water, met als gevolg het dalen van de luchttemperatuur. De secundaire luchtstroom neemt de warmte van de buitenlucht (primaire luchtstroom) op d.m.v. energie-uitwisseling. De buitenlucht koelt hierdoor af en wordt vervolgens de betreffende ruimte ingeblazen. Indirecte adiabatische koeling is geschikt zodra de buitenlucht warmer is dan de retourlucht, omdat het energiebesparing effect van de warmtewisselaar verhoogd wordt. Indirecte adiabatische koeling wordt daarbij geïntegreerd in de luchtbehandelingskast (20.000m³/h) van de basisschool. Door het toepassen van dit principe wordt bespaard op het mechanische energieverbruik. Een nadeel van indirecte adiabatische koeling is dat het haalbaar koelvermogen afhankelijk is van de buitencondities. Bij een buitenconditie van 30°C kan er ongeveer 8°C gekoeld worden. De overige koeling dient daarbij mechanisch te gebeuren. In Nederland zijn in een jaar met 365 dagen en een gebruikersperiode van 7:00 tot 18:00 uur, ongeveer 550 uren/jaar beschikbaar voor indirecte adiabatische koeling. Wanneer in Nederland rekening wordt gehouden met een zomervakantie van vier weken zijn ongeveer 375 uren/ jaar beschikbaar voor indirecte adiabatische koeling.

Om de haalbaarheid van de luchtbehandelingskast met indirecte adiabatische koeling te onderzoeken, is een vergelijking gemaakt met een conventionele luchtbehandelingskast. Hierbij zijn, voor zover mogelijk, dezelfde uitgangspunten voor de basisschool aangehouden. In de exploitatieberekening is uitgegaan van een elektriciteitsprijsstijging van 3% per jaar. Wanneer de basisschool vier weken sluit in de zomer dan is de ncw na 20 jaar €-12.585,-. De investering in indirecte adiabatische koeling is in deze situatie financieel niet rendabel. Wanneer de basisschool geen (zomer)vakantie heeft is de ncw na 14 jaar €255,-. Dit wil zeggen dat indirecte adiabatische koeling zich heeft terugverdiend t.o.v. een conventioneel koelsysteem. Na 20 jaar levert de indirecte adiabatische luchtbehandelingskast €7.785,- op t.o.v. een conventionele luchtbehandelingskast. Het blijft echter de vraag of investeren zinvol is. De levensduur van een luchtbehandelingskast is ongeveer 15 á 20 jaar. De gevolgen op lange termijn van het vernevelen van het water op de luchtbehandelingskast zijn niet bekend. De onderhoudskosten kunnen hierdoor stijgen en de geleverde prestaties van de luchtbehandelingskast kunnen eventueel dalen. Hierdoor zal de investering negatief uitvallen t.o.v. een conventioneel systeem. Bij de gemaakte exploitatieberekeningen is met deze eventuele gevolgen geen rekening gehouden.

Geconcludeerd kan worden dat investeren in een indirecte adiabatische luchtbehandelingskast voor de basisschool in Etten-Leur, rekening houdend met de zomervakantie, financieel niet aantrekkelijk is t.o.v. een conventionele koelinstallatie. De warmtelast in een klaslokaal kan echter teruggedrongen

worden door indirecte adiabatische koeling. Uit duurzaam oogpunt is investeren zinvol. Bij het toepassen van indirecte adiabatische koeling is minder elektriciteit nodig dan bij een conventioneel koelsysteem. Dit heeft als gevolg dat minder elektriciteit opgewekt hoeft te worden.

10.2. Aanbevelingen

In deze paragraaf worden de verbeteringen en eventuele vervolgstappen aangegeven m.b.t. het onderzoek naar adiabatische koeling.

- Een aanbeveling is om bij een referentie project in Nederland waar een luchtbehandelingskast met indirecte adiabatische koeling geplaatst is van de fabrikant Menerga, de jaarbelasting op te vragen. Vervolgens kan geconcludeerd worden of de beschikbare uren m.b.t. indirecte adiabatische koeling overeen komen met welke gegevens gebruikt zijn in dit rapport.

- Op dit moment is in Vabi 114 nog geen mogelijkheid tot het invoeren van indirecte adiabatische koeling. Wanneer gekozen wordt voor het toepassen van een systeem met indirecte adiabatische koeling wordt aanbevolen gebruik te maken van de gemaakte Excel bestanden 'spreadsheet' en 'berekening adiabatische koeling' behorende bij dit document.

Eventuele aanbevelingen, mogelijkheden en verbeteringen op de huidige systemen zijn:

- Het ontwikkelen van een bevochtiger die het water benevelt onder hoge druk, waardoor directe adiabatische koeling tot de mogelijkheden behoort. De hoge druk zorgt ervoor dat de waterdruppel kleiner is dan 10µm. Bij deze afmeting van de waterdruppel is de lucht goed in te ademen en is geen kans op de legionellabacterie [*Literatuur 4*]. Het tweede voordeel van een kleinere waterdruppel is dat de waterdruppel eerder verdampt, met als gevolg dat de lucht sneller koelt. Dit komt doordat de bevochtiger nu een groter oppervlak met waterdruppels kan genereren. In deze situatie kan directe adiabatische koeling i.c.m. indirecte adiabatische koeling toegepast worden. Het gevolg is dat meerdere uren per jaar beschikbaar zijn voor adiabatische koeling en minder/ geen mechanische koeling nodig is.

11. Evaluatie onderzoek

In het eerste deel van het onderzoek zijn diverse systemen onderzocht die gebruik maken van adiabatische koeling. Het onderzoek vond plaats d.m.v. literatuurstudies en diverse afspraken met leveranciers. Dit onderzoek geeft inzicht in de werking, voor- en nadelen en eventuele investeringskosten van de diverse adiabatische systemen weer.

Om het aantal uur te bepalen waarbij adiabatische koeling toegepast kan worden in de basisschool, zijn twee Excel bestanden gemaakt. Het inlezen van de klimaatgegevens over een bepaalde periode wordt berekend in het Excel bestand 'spreadsheet'. Vooraf is vastgesteld aan welke voorwaarden en uitgangspunten het Excel bestand moet voldoen. In dit Excel bestand is het automatisch uitsluiten van een bepaalde doordeweekse dag met een specifieke tijd niet mogelijk. Op dit moment dient dit handmatig te gebeuren. Het vaststellen van de openingstijden van de basisschool en het uitsluiten van de weekenden dient echter wel tot de mogelijkheden. De uitkomsten van het Excel bestand geeft een realistische weergave van de buitencondities in een bepaalde periode a.d.h.v. een KNMI station. De gebruiker kan de ingevoerde klimaatgegevens controleren door de klimaatgegevens van een willekeurig klimaatstation in te lezen. Het tweede Excel bestand 'adiabatische berekeningen' geeft de mogelijkheid statische berekeningen te maken aan een direct- en indirect adiabatisch systeem. In dit Excel bestand 'adiabatische berekeningen' dienen de buitencondities ingevoerd te worden. Het nadeel van deze berekening is echter dat de uitkomsten geen dynamische weergave vertonen, wat wel het geval is in het Excel bestand.

Om inzicht te krijgen hoeveel uur per jaar adiabatische koeling toegepast kan worden is onderzocht onder welke buitencondities adiabatsiche koeling mogelijk is. Over verschillende klimaatjaren is vervolgens het aantal mogelijke uren aan directe- en indirecte adiabatische koeling bepaald. De uitkomsten zijn vergeleken met de leveranciers Menerga en Stulz. Over een klimaatjaar waarin niet wordt gerekend met weekenden zijn de beschikbare uren t.b.v. indirecte adiabatische koeling volgens de fabrikanten tussen de 500 en 800 uur per jaar. De uitkomsten van de gemaakte berekeningen zijn rond de 550 uur per jaar over diverse plekken in Nederland. Met behulp van Vabi 114 is geprobeerd een extra controle uit te voeren met de mogelijke beschikbare uren aan indirecte adiabatische koeling. Na het uitvoeren van diverse mogelijkheden bleek echter dat de mogelijkheid om binnen Vabi 114 de adiabatische koeling toe te passen niet mogelijk is dit is d.m.v. telefonisch contact met Vabi bevestigd.

Vervolgens is onderzocht wat de tvt en ncw van een adiabatisch- t.o.v. een conventioneel koelsysteem is. Bij de berekeningen zijn offertes aangevraagd bij de leveranciers Menerga, Wolf en Verhulst. Van de leverancier Wolf is geen offerte ontvangen. De energiekosten van indirecte adiabatische koeling en mechanische koeling is bepaald met diverse berekeningen. De investering-, onderhoud- en energiekosten van een conventioneel- en indirect adiabatisch koelsysteem zijn daarbij vergeleken. Voor zover als mogelijk zijn bij de berekeningen dezelfde uitgangspunten gehanteerd. De investeringskosten m.b.t. een conventioneel koelsysteem zijn verkregen van de leverancier Verhulst. De investeringskosten voor indirecte adiabatische koeling zijn verkregen van de leverancier Menerga. Door realistische kosten van de leveranciers in rekening te brengen geeft het onderzoek realistische uitkomsten weer m.b.t. de tvt en ncw. De kosten zijn daarbij exclusief btw en mogelijk te verkrijgen kortingen bij leveranciers.

12. Reflectie

In het afgelopen half jaar tijdens het afstuderen, heb ik naar mijn mening veel geleerd. De persoonlijke kennis is niet alleen op technisch vlak beter geworden, maar ook op communicatie- en planmatig vlak.

Dit onderzoek is het eerste grote onderzoek dat ik zelfstandig heb uitgevoerd. Tijdens het uitwerken van de opdracht ben ik erachter gekomen dat gedisciplineerd werken belangrijk is. Door deze manier van werken voorkom je dat er onnodig werk wordt verricht en de planning gehandhaafd kan worden. Het afgelopen half jaar heb ik de vooraf opgestelde planning zo ver als mogelijk nageleefd. Er waren echter activiteiten die niet in de planning opgenomen waren maar wel zijn uitgevoerd. De uiteindelijke deadline voor het inleveren van het document is hierbij niet in gevaar gekomen. Dit kwam mede doordat de deadline voor het inleveren van 15 december 2012 naar 8 januari 2013 is verplaatst. In deze periode heb ik het document taaltechnisch voor zo ver mogelijk verbeterd. De feedback op de gemaakte stukken van collega's, vrienden en begeleiders heb ik als goed ervaren. Van de gekregen feedback heb ik veel geleerd in technische inhoudelijk opzicht en het juist toepassen van de Nederlandse taal.

Voor het onderzoek is een groot gedeelte informatie van internet gebruikt. Door het toepassen van de informatie heb ik meer inzicht gekregen in de opdracht en de werking van diverse systemen. Tijdens het uitwerken van de opdracht kwam ik er achter dat communicatievaardigheden belangrijk zijn. Wanneer ik niet uit bepaalde vragen kwam, kon ik terecht bij collega's. De collega's gaven daarbij de benodigde kennis over een bepaald onderwerp. Was er enige onduidelijkheid over een systeem, dan werd informatie ingewonnen via de leverancier. Het bellen naar een leverancier deed ik in eerste instantie niet snel. Na contact gehad te hebben met enkele personen van diverse leveranciers werd mij al vrij snel duidelijk dat mensen je graag van informatie willen voorzien en erg geïnteresseerd zijn in het onderzoek. Hierdoor werd het voor mij makkelijker om de leveranciers te bellen. Door contact te zoeken met diverse mensen heb ik meer inzicht gekregen in de werking van de diverse systemen.

Een aandachtspunt voor mij is het goed toepassen van de Nederlandse taal. Bij het tekstueel uitwerken van een document kom je in tweede instantie nog vaak spel- of zinsopbouw fouten tegen. Tijdens het uitwerken van het onderzoek is mij tekstueel duidelijk geworden wat de impact van bepaalde woorden in een zin zijn. Vooral met aanwijzende voornaamwoorden heb ik gestoeid. Die woorden verwijzen naar een eerder beschreven gedeelte van een tekst of passen feitelijk niet in een bepaalde context. Tijdens de gekregen feedback bleek dat sommige aanwijzende voornaamwoorden sloegen op een nog niet beschreven gedeelte in een eerder tekstueel gedeelte. Dit kan voor een lezer vragen oproepen en een hoop onduidelijkheid geven. Om te zorgen dat de Nederlands taal zo goed mogelijk verwerkt is in dit document, heb ik het document naar diverse personen gestuurd met de vraag om het document taaltechnisch van feedback te voorzien. Van de gekregen feedback heb ik veel geleerd. Deze feedback heb ik meegenomen tijdens het schrijven van dit rapport. In de toekomst zal op tekstueel gebied verbetering plaats kunnen vinden. Dit zal gebeuren door de tekst nogmaals door te lezen en een bekende of collega te vragen om het document te voorzien van feedback. Door de bovenstaande stappen te volgen denk ik dat het toepassen van de Nederlandse taal in de geschreven teksten steeds beter wordt. Dit is wel een proces dat tijd in beslag neemt, maar met de nodige feedback, zeker mogelijk. Al met al kijk ik terug op een leerzame en positieve

afstudeerperiode, die mij gestimuleerd heeft om mijn kennis te verbreden op het technisch vlak en mijn communicatie vaardigheden, waaronder het correct toepassen van de Nederlandse taal.

Afkortingen

parameter	eenheid	verklaring
%	[%]	Percentage
a	[%]	Rentevoet lening
BVO	[m²]	Bruto vloer oppervlak
DAK		Directe adiabatische koeling
h	[J/kg]	(soortelijke)enthalpie
h/a		Uren per jaar (365 dagen)
IAK		Indirecte adiabatische koeling
K	[K]	Kelvin
$K_{\%}$	[%]	Percentage van de lengte van de kruisstroomwisselaar waarover de temperatuur wordt berekend.
KNMI		Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Kve/l		Kiemvormende eenheid per liter
l		Levensduur installatie
Lbk		Luchtbehandelingskast
$\dot{m}$	[kg/s]	Massastroom
m²	[m²]	Vierkante meter
n		Termijn
NCW	[€]	Netto contante waarde
η_k	[%]	Rendement kruisstroomwisselaar
P	[J/s]	Vermogen
Rgd		Rijksgebouwdienst
RV	[%]	Relatieve vochtigheid
T_b	[°C]	Buitentemperatuur
$T_{k90\%}$	[°C]	Luchttemperatuur na 90% in de kruisstroomwisselaar
TO		Temperatuur overschrijding berekening
T_{prim}	[°C]	Primaire luchttemperatuur
T_{retour}	[°C]	Afzuig/ retour temperatuur uit de ruimte
TVT		Terugverdientijd
W	[J/s]	Watt
W/m²	[W/m²]	Watt per vierkante meter
WKO		Warmte Koude Opslag
ww		Warmtewisselaar
µm	[µm]	Micrometer
ρ	[kg/m³]	(massa)dichtheid, soortelijke massa

Begrippen

omschrijving	verklaring
Dauwpuntstemperatuur	De temperatuur tot welke een gegeven hoeveelheid, vochtige lucht bij constante druk en mengverhouding moet worden afgekoeld om verzadiging te verkrijgen.
Inblaasconditie	Bepaalde lucht temperatuur en relatieve vochtigheid bij het inblazen van de lucht in een ruimte.
Pats	Zig-zag materiaal waar gescheiden water en lucht doorheen stroomt.
Primaire luchtstroom	De primaire luchtstroom wordt eerst van buiten aangezogen, gekoeld door de secundaire luchtstroom en vervolgens de verschillende ruimtes ingeblazen.
Proceswater	Water dat gebruikt wordt voor technologische processen.
Secundaire luchtstroom	De afzuiglucht van het gebouw naar de afzuiging buitenlucht
Terugverdientijd	De terugverdientijd is de tijd die nodig is om het geïnvesteerde bedrag terug te verdienen.
VABI 114	Vereniging voor Automatisering in de Bouw en installatietechniek variant Gebouwsimulatie.

Bronnen

Literatuur:

[1] Knoll, W.H. ; Wagenaar, E.J. ; Weele A.M., (2002). Handboek Installatietechniek. Rotterdam: Isso. Hoofdstuk 1.8.

[2] Knoll, W.H. ; Wagenaar, E.J. ; Weele A.M., (2002). Handboek Installatietechniek. Rotterdam: Isso. Hoofdstuk 3.16.

[3] ISSO publicatie 11

[4] ISSO publicatie 55.3

[5] Olst, K., (2012). Vuistregels voor installatiekosten. Colmschate: Weevers Grafimedia.

[6] Grit, R., (2008). *Projectmanagement*. Houten: Noordhoff Uitgevers.

Internet:

	Website	Bezocht op d.d.
[1]	http://www.cumulus.nl/adiabatischekoeling	10-09-2012
[2]	http://www.menerga.nl/2009/merken/menerga-Adsolair-57-58.php	12-09-2012
[3]	http://www.coltinfo.nl/producten-en-systemen/klimaattechniek-industrie/adiabatische-koeling/	12-09-2012
[4]	http://www.wolf-heiztechnik.de/nl/pkp/producten/luchtbehandelingskasten/adiabatische-koeltechniek.html	20-09-2012
[5]	http://www.menerga.nl/downloads/Menerga-98-screen.pdf	12-09-2012
[6]	http://www.almeco.eu/nl/producten-diensten/koeltorens/hoe-werkt-een-koeltoren/types-koeltorens	22-09-2012
[7]	http://www.gea-energytechnology.com/opencms/opencms/pcl/nl/CoolingTowers/Coolingtechnology.html	22-09-2012
[8]	http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/legionella	24-09-2012
[9]	http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/	05-10-2012
[10]	http://www.vewin.nl/Tarievenoverzicht/Pages/default.aspx	06-10-2012
[11]	http://www.nuon.nl/energie/energieprijzen/?from=tarieven&itemcategory=OVG	10-10-2012
[12]	http://www.ebbens.nl/	12-11-2012
[13]	http://www.nuon.nl/mkb/tarieven/stroom/	13-11-2012
[14]	http://www.vabi.nl/Producten/Vabi-Uniforme-Omgeving/Gebouwsimulatie	28-11-2012
[15]	http://books.google.nl/books?id=NviIbUYoeIAC&pg=PA295&lpg=PA295&dq=rijksgebouwendienst+overschrijding&source=bl&ots=LbLpbXKtRR&sig=gDAX02Cm-XVxS-FIsdtm-QeNsvk&hl=nl&sa=X&ei=ZF63UOvyLYW40QWg1oH4CA&ved=0CC4Q6AEwAA#v=onepage&q=rijksgebouwendienst%20overschrijding&f=false	29-11-2012

Mondeling:

	Personen	Werkzaam bij	Functie
[1]	Frank van Efde	Menerga	Account manager
[2]	Ron van der horst	Menerga	Sales Engineer
[3]	Jack Quadflieg	Jaeggi	Regionale directeur België en Nederland
[4]	Bert Leffers	Stulz	Sales Engineer
[5]	Henk ter Steege	Ebbens	[-]

Bijlagen

Overzicht gebruikte figuren

Figuur 1, adiabatische koeling in het Mollier-diagram 14
Figuur 2, principe directe adiabatische koeling 15
Figuur 3, principe indirecte adiabatische koeling 16
Figuur 4, indirect adiabatisch proces in Mollier-diagram 16
Figuur 5, silicagel 17
Figuur 6, comfortgebied van een ruimte 18
Figuur 7, PPD ten opzichte van PMV 19
Figuur 8, referentie basisschool 22
Figuur 9, overzicht berekend lokaal in basisschool begane grond en 1e verdieping 24
Figuur 10, overzicht aantal h/a met een specifieke buitenconditie 26
Figuur 11, verdeling gebieden adiabatische koeling in Mollier-diagram 27
Figuur 12, kruisstroomwisselaar 28
Figuur 13, primaire luchtstroom in kruisstroomwisselaar 30
Figuur 14, overzicht berekende KNMI stations 34
Bijlage
Figuur 15, overzicht ruimtekoeling d.m.v. het product Coolstream 55
Figuur 16, werking coolstream in zomermaanden 55
Figuur 18, bevestigingmethoden CoolStream 56
Figuur 17, pats 56
Figuur 19, werking in zomermaanden 58
Figuur 20, warmtewisselaar van de fabrikant Menerga 58
Figuur 21, werking in de wintermaanden 59
Figuur 22, werking tussenseizoen 59
Figuur 23, vrije koeling en adiabatische koeling 61
Figuur 24, vrije koeling, adiabatische koeling en mechanische koeling 61
Figuur 25, vrije koeling, adiabatische koeling, mechanische nakoeling en secundaire watercondensor 62
Figuur 26, mechanische koeling 62
Figuur 27, schematische weergave open koeltoren 64
Figuur 29, gesloten circuit proceswater door koeltoren 65
Figuur 28, warmtewisselaar buiten koeltoren 65
Figuur 31, waterverdeling over lamel 66
Figuur 30, vooraanzicht hybride droge koeling 66
Figuur 32, zijaanzicht hybride droge koeling 66
Figuur 33, UV lampen boven opvangbak koeltoren 69
Figuur 34, reservoirafdekking koeltoren 69
Figuur 36, weergave inleesgebied KNMI gegevens 76
Figuur 37, button voor inhoud cellen wissen 76
Figuur 38, overzicht h/a in Mollier-diagram 78

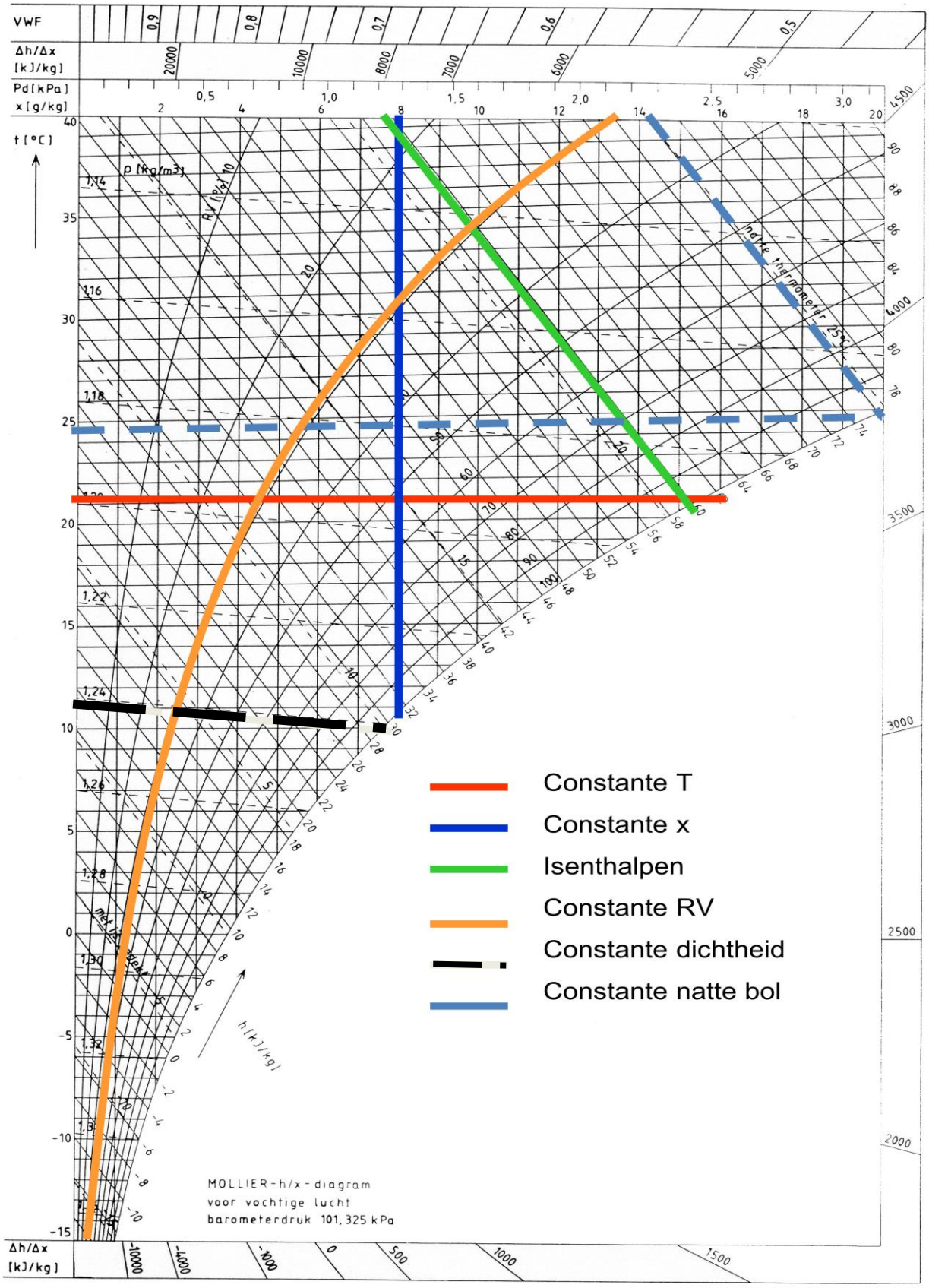
Overzicht gebruikte tabellen

Tabel 1, uitkomsten diverse TO berekeningen 32
Tabel 2, vergelijking Vabi directe adiabatische koeling t.o.v. Excel berekening indirecte adiabatische koeling 33
Tabel 3, overzicht berekende KNMI stations 34
Tabel 4, verandering indirecte adiabatische koeling bij een RV stijging van 50% naar 60% 37
Tabel 5, aantal koeluren per toegepast systeem 38
Tabel 6, exploitatie overzicht 40
Tabel 7, risicocategorie t.b.v. natte koeltorens 67
Tabel 8, overzicht monsterafname per risicocategorie 68
Tabel 9, overzicht gemeten kve/l met de daarbij horende gevolgen 68

Overzicht gebruikte grafieken

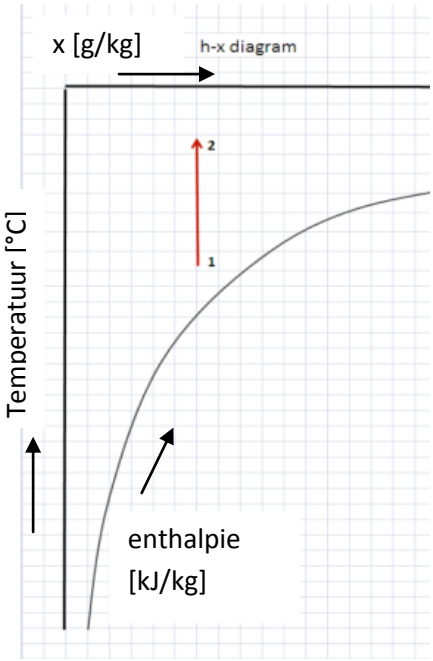
Grafiek 1, aantal h/a dat IAK beschikbaar is bij verschillende KNMI station 35
Grafiek 2, aantal h/a dat IAK beschikbaar is bij een basisschool met vier weken zomervakantie bij diverse KNMI station 35
Grafiek 3, aantal h/a dat IAK beschikbaar is bij KNMI station Gilze Rijen 36

Bijlage A
Weergave diverse luchtbehandelingprocessen in het Mollier-diagram

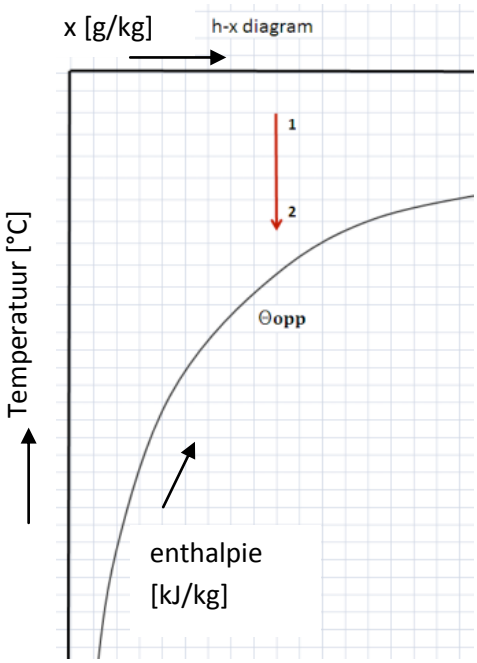


Luchtbehandelingprocessen

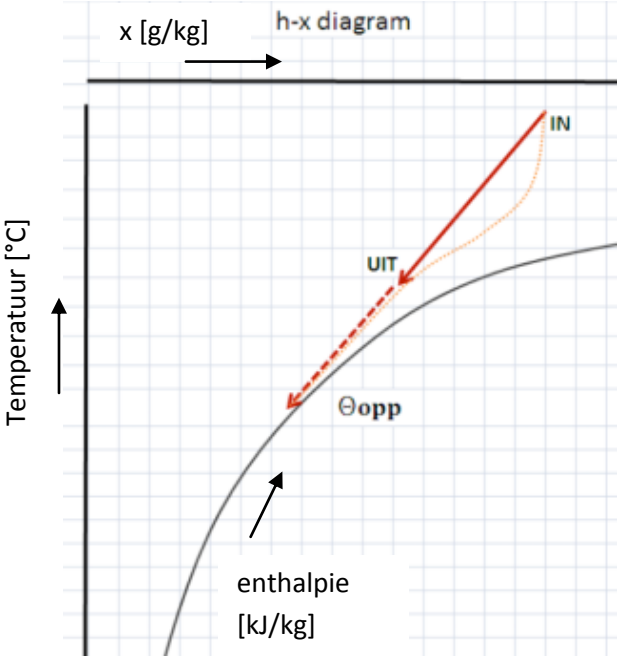
Verwarmen



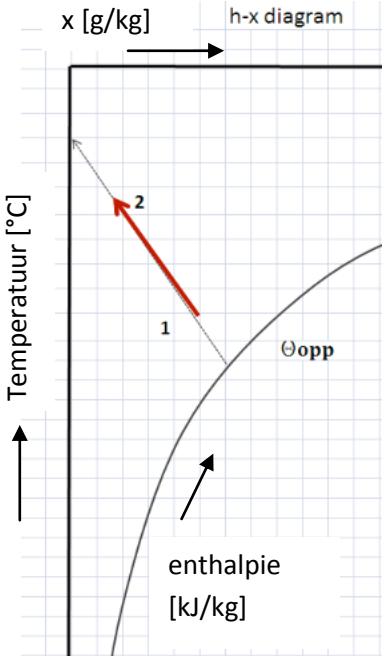
Droogkoelen



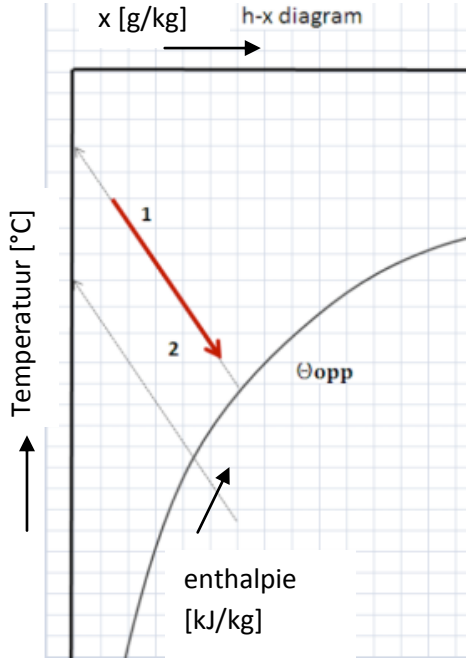
Koelen en ontvochtigen



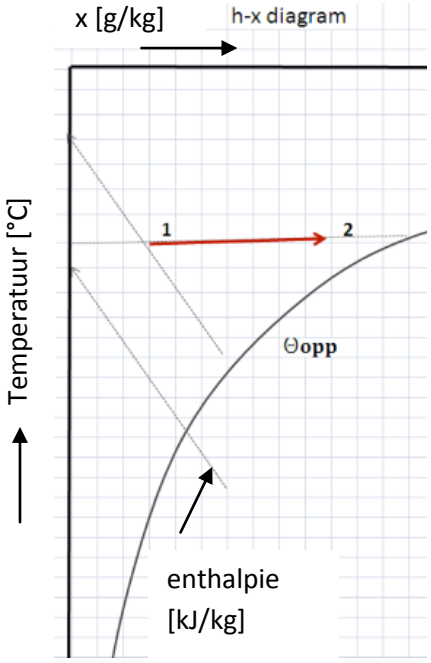
Adiabatische ontvochtiging



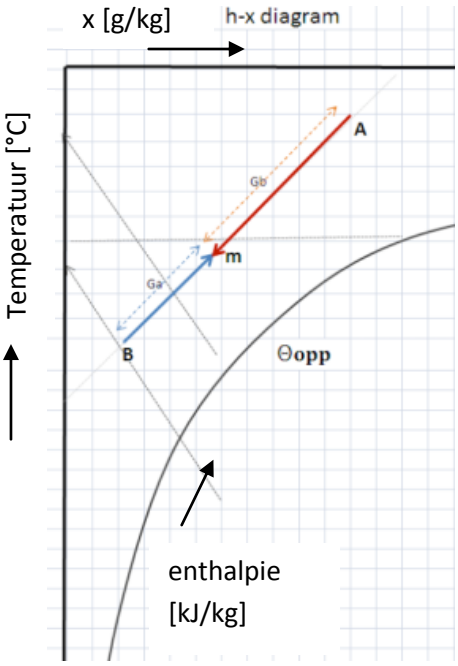
Adiabatische bevochtiging



Stoombevochtiging



Mengen van lucht



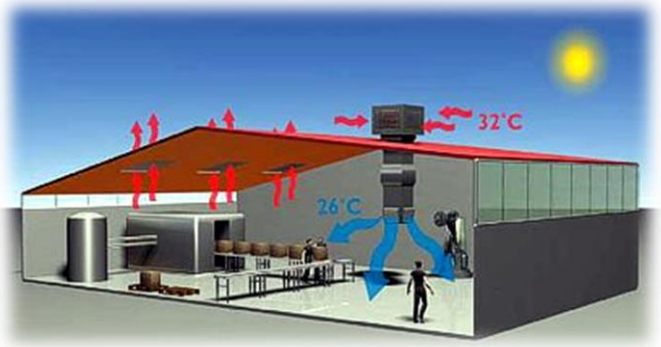
Bijlage B Werking diverse systemen

Adiabatische koeling geschikt voor één ruimte

In dit hoofdstuk wordt een adiabatisch koelsysteem beschreven dat geschikt is voor het koelen van één ruimte. De werking van het systeem met de daarbij horende voor- en nadelen worden daarbij aangegeven. Het systeem wat in dit hoofdstuk wordt beschreven is de Coolstream van de fabrikant Colt. [*internetbron 3*].

Werking Coolstream

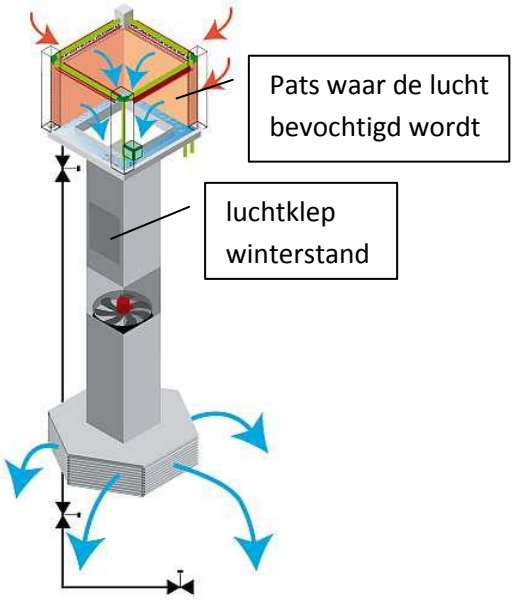
De fabrikant Colt heeft een systeem (CoolStream) ontworpen dat d.m.v. indirecte adiabatische koeling de ruimte kan koelen. Het systeem is het gehele jaar bruikbaar. De koelinstallatie in het systeem daarentegen niet. De werking van het systeem is m.b.v. de productspecificatie van de fabrikant opgesteld. In figuur 15 is het principe van het systeem weergegeven.



Figuur 15, overzicht ruimtekoeling d.m.v. het product Coolstream

Het systeem kan op verschillende manieren werken. De werking is beschreven voor de zomer- en wintermaanden.

De werking in de zomermaanden is als volgt:
De warme buitenlucht wordt door een ventilator het systeem ingezogen. De buitenlucht stroomt daarbij door zogenoemde 'pats'. De pats worden daarbij over het gehele oppervlak in de zomermaanden bevochtigd met verneveld water. Het gevolg hiervan is dat het vernevelde water warmte uit de warme buitenlucht haalt en verdampt. Het resultaat is dat de warme buitenlucht in temperatuur daalt. De gekoelde lucht wordt vervolgens door inblaasroosters in de ruimte verspreid.



Figuur 16, werking coolstream in zomermaanden

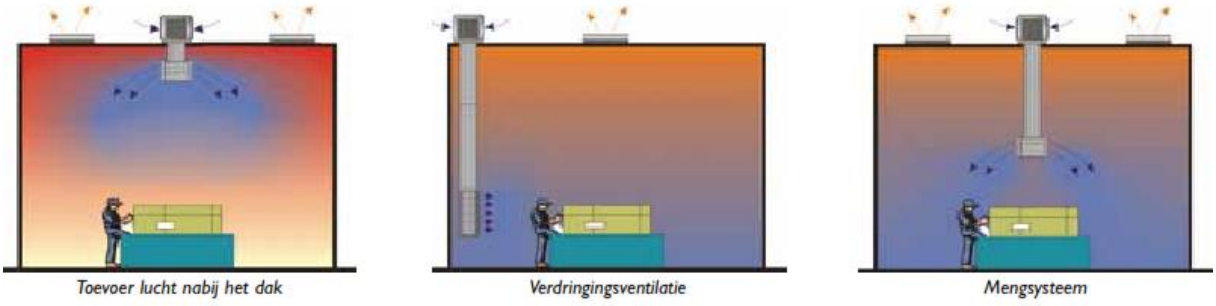
Één van de gevaren die kan ontstaan bij het gebruik van water is de legionellabacterie. In de legionellabacterie zitten aerosolen. Deze aerosolen zorgen voor besmettingen. Deze bacterie ontstaat vooral bij stilstaand water met een temperatuur van boven de 20°C. Uitgebreide informatie over legionella is beschreven in hoofdstuk 6. Het beschreven systeem is voorzien van een besturingsysteem. Het besturingsysteem zorgt ervoor dat de watertemperatuur onder de 20°C blijft. Dit wordt geregeld door het water voldoende te laten circuleren en als het nodig is te verversen. Het systeem is voorzien van een tapwater aansluiting. In de tapwater aansluiting zit een motorgestuurde regelafsluiter die geregeld wordt door het besturingssysteem. Zo kan het systeem door diverse metingen bepalen of de waterbak voorzien moet worden van schoon tapwater. Door deze maatregelen worden bacteriegroei voorkomen. Het water, wat gebruikt wordt voor de bevochtiging van de lucht, bevindt zich in een donkere bak. In de

donkere bak komt er geen zonlicht doordat de pats in een zig- zag vorm zijn gemonteerd. Door dit ontwerp wordt het zonlicht dat van buiten komt afgeketst. Dit heeft als gevolg dat het water minimaal wordt opgewarmd door de invloeden van buiten.

Figuur 17, pats

Werking in de wintermaanden:
Wanneer er in de wintermaanden, in de ruimte, geen koudevraag is schakelt het systeem zich over naar de winterstand. In de winter is er geen bevochtiging van de lucht meer nodig. Het besturingssysteem zorgt ervoor dat de regelklep de toevoer van water naar de waterbak en de bevochtiger stopt. Het besturingssysteem zal d.m.v. buiten- en binnentemperatuurmetingen bepalen wanneer de toevoer van water afgesloten kan worden. In figuur 16 is een 'luchtklep winterstand' aangegeven. Met deze luchtklep bestaat er de mogelijkheid om de warmte die in de ruimte aanwezig is te mengen met buitenlucht. Is de buitentemperatuur te laag, dan zal het systeem overgaan op het recirculeren van binnenlucht. Wanneer het systeem overgaat op recirculatie zal er geen verse lucht in de ruimte worden toegevoerd.

De CoolStream kan op verschillende manieren bevestigd worden om de ruimte te koelen. In figuur 18 worden deze manieren weergegeven.



Figuur 18, bevestigingmethoden CoolStream

De belangrijkste voordelen van dit systeem zijn:

- aansluitbaar op het installatiebeheersysteem;
- luchttoevoer in zomer 100%, waardoor er geen vervuilde binnenlucht gekoeld wordt;
- de besturing zorgt voor veilige watercirculatie, -temperatuur en verversing;
- geen gebruik van freon;
- stille werking;
- geluidsarm.

De nadelen van dit systeem zijn:

- alleen geschikt voor industriële ruimten;
- toepasbaar voor één ruimte;
- gering koelvermogen (25 tot 45 kW).

Technische gegevens:

Fabrikant		Colt
Type toestel	[-]	Coolstream
Luchthoeveelheid	[m³/h]	8.500 t/m 15.500*
Koelcappaciteit	[kW]	25 t/m 45
Minimale voorraad water	[liters]	12 t/m 30**
Kosten	[€]	10.000 t/m 30.000*

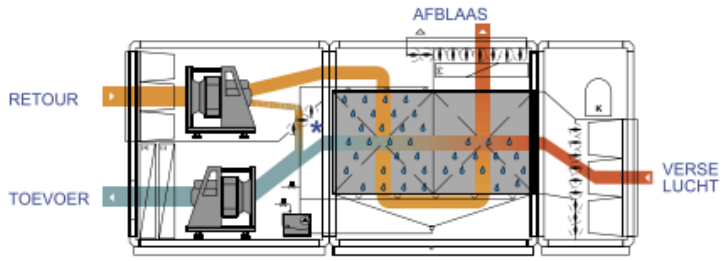
*luchthoeveelheid en kosten afhankelijk van selectie model.
**er is een minimale waterhoeveelheid van 12 liter nodig voordat het systeem aan gaat en een maximum van 30 liter. Het toevoerdebiet is daarbij minimaal 0,15 l/s.

Indirecte adiabatische koeling in luchtbehandelingskast

Het indirect adiabatisch koelen in de luchtbehandelingskast wordt door de fabrikanten Menerga en Wolf op dezelfde wijze toegepast. Tussen beide fabrikanten is er een verschil in het materiaalgebruik en afmetingen van de diverse componenten in de luchtbehandelingskast. [*internetbron 2,4 en mondeling 1*]

De luchtbehandelingskasten van de twee fabrikanten, werken grotendeels volgens het beschreven principe in hoofdstuk 4.4 indirecte koeling**.** De afgezogen retourlucht uit de ruimten wordt bevochtigd in de warmtewisselaar en vervolgens afgevoerd naar buiten. De warmtewisselaar bestaat uit twee delen. Namelijk één gedeelte waar de lucht bevochtigd wordt aan beide zijdes en één gedeelte waar de lucht alleen aan de onderkant bevochtigd wordt. De retourlucht wordt door een sproeisysteem op drie plaatsen tegelijk in de warmtewisselaar bevochtigd. De posities van het sproeisysteem is aangegeven in figuur 19. De retourlucht zal als gevolg van de bevochtiging een RV van 90 á 95% hebben. Het water wat gebruikt is voor de bevochtiging van de lucht wordt onder de warmtewisselaar opgevangen in een trechtervormige bak. Het water in die bak wordt vervolgens door een pomp teruggebracht naar het sproeisysteem. Op deze manier wordt er voorkomen dat het systeem steeds wordt voorzien van nieuw water. Is het water te veel vervuild dan zal het afgevoerd worden. Dit wordt bepaald d.m.v. diverse metingen aan het water door het regelsysteem. De installatie wordt minimaal één keer per dag voorzien van nieuw water. In het regelsysteem/ installatiebeheersysteem kan de eindafnemer de verversing instellen op meerdere keren per dag. Door het water in beweging te houden is het water legionella veilig.

Door het adiabatische proces is de retourlucht gedaald in temperatuur. Het gevolg is dat veelal in de zomer een redelijk groot temperatuurverschil tussen de retourlucht en de vers aan te zuigen buitenlucht is ontstaan. Door het dunne materiaal, waarvan de warmtewisselaar is gemaakt, vindt er warmte uitwisseling plaats, van de warme naar de koude luchtstroom. De verse warme buitenlucht wordt gekoeld zonder dat het in aanraking komt met de waterdamp. Dit kan een daling in temperatuur van ongeveer 6 á 8K opleveren, afhankelijk van de buiten- en binnenlucht condities en de grote van de warmtewisselaar.



Figuur 19, werking in zomermaanden

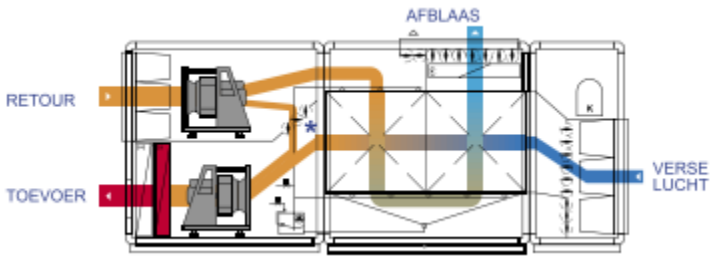
Zoals eerder is beschreven zal de luchtstroom bevochtigd worden in de warmtewisselaar. De warmtewisselaar bestaat uit allemaal kleine kanaaltjes. Door deze buisjes stroomt water. Om ervoor te zorgen dat het rendement van de warmtewisselaar zo hoog mogelijk blijft is het belangrijk dat de diverse buisjes in de warmtewisselaar niet verstopt raken. Het verstopt raken kan gebeuren doordat het water kalk, zouten of bacteriën bevat, of doordat het door de circulatie van het water vuil meeneemt. Een oplossing voor dit probleem is het gebruik van behandeld water. Dit behandelde water wordt osmose water genoemd. In osmose water zijn de vervuilde deeltjes uit het water gefilterd. Dit water neemt wel extra kosten met zich mee. De extra kosten die gemaakt worden, zijn voor de voorbehandeling van het water en het extra aan te leggen transportnet naar de luchtbehandelingskast.

De fabrikant Menerga heeft een oplossing voor het niet verstopt raken van de buisjes in de warmtewisselaar. De warmtewisselaar is ontwikkeld van kunststof genaamd polypropyleen. De eigenschap van dit kunststof is dat er niks aan blijft kleven/ plakken. Het is als het ware stof afstotend. Het gevolg van het gebruik van deze warmtewisselaar is dat de bevochtiging van de lucht door het water van de drinkwaterleverancier kan plaatsvinden. De eventuele kalk en andere stoffen die zich in het water bevinden kunnen niet voor verstopping van de buisjes in de warmtewisselaar zorgen, doordat het polypropyleen dit afstoot. Het grote voordeel hiervan is dat er geen extra kosten gemaakt hoeven te worden voor de behandeling van osmosewater en het apart aan te leggen transportnet.

Figuur 20, warmtewisselaar van de fabrikant Menerga

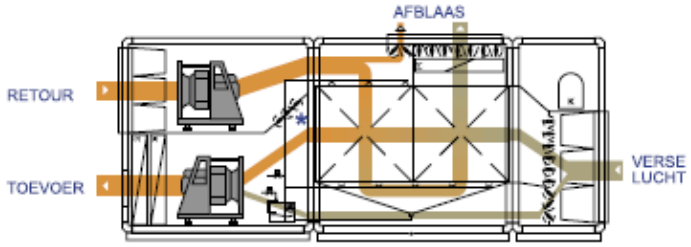
Vanaf de warmtewisselaar zal de bevochtigde afblaaslucht naar buiten worden afgevoerd. Voordat de bevochtigde lucht naar buiten stroomt zal het eerst door een druppelvanger stromen. De druppelvanger zorgt ervoor dat de overgebleven vocht in de lucht eruit gehaald wordt. Het gevolg hiervan is dat de kans op de legionellabacterie bij de uitstoot van de lucht niet tot minimaal is. Voor de veiligheid zal er goed gekeken moeten worden naar welke richting de lucht uitgestoten wordt. Erop gelet dat de luchtstroom niet gericht is op gebieden waar mensen zich bevinden. Dit om ervoor te zorgen dat de kans op besmetting minimaal blijft.

In de wintermaanden kan de koude buitenlucht indien noodzakelijk direct als koeling gebruikt worden. De koude buitenlucht zal door de verwarmingsbatterij in de luchtbehandelingskast op de gewenste inblaasconditie gebracht worden. Hierdoor is het niet nodig dat een alternatief systeem voor het verwarmen van de ruimten in de winter nodig is. Deze werking in de wintermaanden wordt weergegeven in figuur 21.



Figuur 21, werking in de wintermaanden

In het voor- en najaar (tussenseizoen) worden de luchtstromen geregeld door jaloezieklepen. Deze jaloezieklepen bevinden zich op verschillende plaatsen in de luchtbehandelingskast. Door de geregelde warmteterugwinning van de luchtbehandelingskast wordt bepaald hoeveel verse buitenlucht er gemengd kan worden met de retourlucht. De mengverhouding tussen de beide stromen zorgt voor de gewenste/ max. haalbare toevoertemperatuur. Tijdens dit proces wordt er geen gebruik gemaakt van de verwarmingsbatterij. De werking van het tussenseizoen wordt weergegeven in figuur 22.



Figuur 22, werking tussenseizoen

Bij het toepassen van indirecte adiabatische koeling zonder mechanische koeling moet er rekening mee worden gehouden dat de retourlucht conditie (temperatuur en RV) variëren. Dit heeft tot gevolg dat het max. koelvermogen d.m.v. adiabatische koeling afhankelijk is van de buitencondities. Is de koudevraag in het gebouw groter dan dat de adiabatische koeling kan realiseren in de luchtbehandelingskast, dan zal de inblaaslucht niet op behaaglijk niveau gebracht kunnen worden. Bij het toepassen van dit systeem is het lastig om de grote van de warmtewisselaar (bevochtigingsectie) te bepalen. De grootte van de warmtewisselaar wordt vaak bepaald/ berekend d.m.v. de temperaturen aan te nemen van een standaardjaar. Het nadeel van een referentiejaar is dat dit op elk moment van de dag kan afwijken van de huidige buitencondities.

De adiabatische koeling in luchtbehandelingskasten kan worden toegepast voor scholen, zwembaden, datacenters, serviceruimten, kantoren, en industriële ruimten en theaters.

De voordelen van dit systeem zijn:

- hoge warmteterugwinning met een rendement van meer dan 80%;
- milieuvriendelijke koeling;
- geen osmose water nodig bij de luchtbehandelingskast van de fabrikant Menerga;
- gescheiden luchtstromen;
- adiabatische koeling geïntegreerd in luchtbehandelingskast;
- lage energiekosten.

De nadelen van dit systeem zijn:

- koelvermogen moeilijk te bepalen. Dit komt door variërende buitenluchtcondities;
- hogere investering t.o.v. luchtbehandelingskast met koelmachine;
- het indirect adiabatische koelen in een luchtbehandelingskast neemt meer ruimte in beslag. Hierdoor wordt de luchtbehandelingskast groter van formaat;
- osmose water nodig bij de luchtbehandelingskast van de fabrikant Wolf.

Een overzicht van de technische specificaties van de beschreven luchtbehandelingskasten in deze paragraaf:

Fabrikant		Menerga	Wolf
Type luchtbehandelingskast	[-]	Adsolair	KG top
Luchtverplaatsing	[m³/h]	4.700 t/m 48.000*	1.000 t/m 10.500*
Koelcappaciteit	[kW]	250*	*Gegeven niet gekregen van leverancier*
waterhoeveelheid	[kg/h]	8 per 1000 m³/h	*Gegeven niet gekregen van leverancier*
Kosten lbk	[€]	35.000 t/m 187.200*	*Gegeven niet gekregen van leverancier*

*waarde afhankelijk van de massastroom en soortelijke warmte.

Hybride waterkoelmachines

De hybride waterkoelmachine kan volgens drie principes koelen, te weten d.m.v.:

- adiabatische koeling;
- mechanische nakoeling;
- vrije koeling.

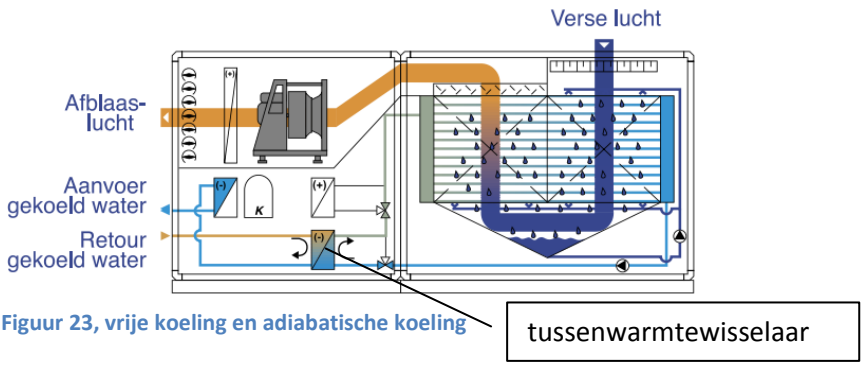
De hybride waterkoelmachine [*internetbron 5 en mondeling 1*]
werkt volgens één van de vier situaties. De verschillende situaties zijn:

- vrije koeling en adiabatische koeling;
- vrije koeling, adiabatische koeling en mechanische nakoeling;
- vrije koeling, adiabatische koeling, mechanische nakoeling en secundaire watercondensor;
- mechanische koeling.

In onderstaand gedeelte wordt de werking van elke situatie beschreven.

Situatie één: vrije koeling en adiabatische koeling:

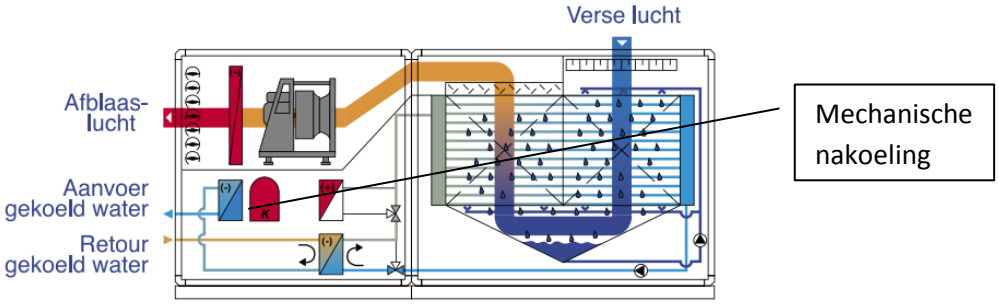
Wanneer er buiten een lage temperatuur en RV heerst, zal de warmte van het proceswater in de warmtewisselaar afgegeven worden aan de aangezogen verse buitenlucht. De aangezogen buitenlucht warmt hierdoor op. De opgewarmde lucht wordt vervolgens door een ventilator naar buiten afgezogen. Om ervoor te zorgen dat er een zo hoog mogelijk rendement gehaald wordt zal de buitenlucht in de warmtewisselaar bevochtigd worden. Het gevolg hiervan is dat de buitenlucht nog meer in temperatuur daalt. Er ontstaat een groter temperatuurverschil tussen de bevochtigde buitenlucht en het proceswater. Door het grotere temperatuurverschil kan het proceswater meer afkoelen. Hoe lager de temperatuur van het proceswater, des te groter de koelcapaciteit wordt. Het setpoint/ de gewenste aanvoertemperatuur van het gekoelde water wordt in een tussenwarmtewisselaar na de adiabatische koeling geregeld. Het principe is weergegeven in figuur 23.



Figuur 23, vrije koeling en adiabatische koeling

Situatie twee: vrije koeling, adiabatische koeling en mechanische nakoeling:

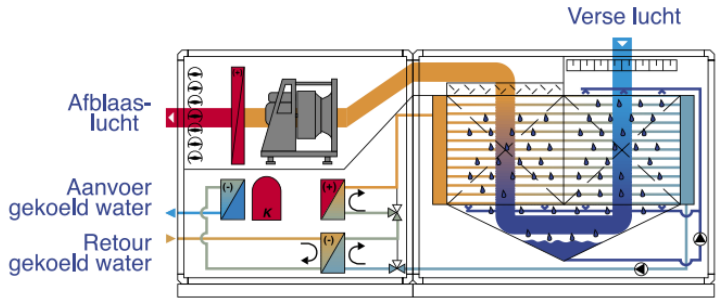
Bij een hoger wordende buitenluchttemperatuur en -vochtigheid zal het koelvermogen door adiabatische bevochtiging kleiner worden. Wanneer het proceswater in de tussenwarmtewisselaar niet tot de gewenste temperatuur gekoeld kan worden, wordt de mechanische nakoel installatie ingeschakeld. Dit zorgt dat de gewenste aanvoertemperatuur van het proceswater gehaald kan worden. De condensatiewarmte die vrij komt bij mechanische koeling wordt met de afblaaslucht naar buiten afgevoerd. Het proces is weergegeven in figuur 24.



Figuur 24, vrije koeling, adiabatische koeling en mechanische koeling

Situatie drie: vrije koeling, adiabatische koeling, mechanische nakoeling en secundaire watercondensor:

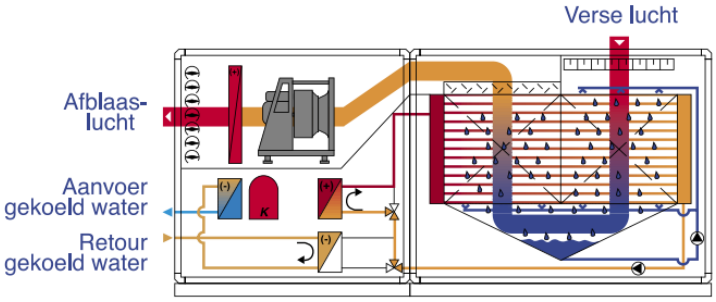
Het besturingssysteem van het systeem schakelt deze situatie in wanneer er een groot gedeelte gekoeld wordt via mechanische koeling. Bij mechanische koeling komt er condensorwarmte vrij. Wanneer er teveel mechanisch gekoeld wordt kan niet alle condensorwarmte afgegeven worden aan de afblaaslucht. Wordt dit wel gedaan dan zal de gewenste aanvoertemperatuur van het proceswater niet meer gehaald worden. De resterende condensorwarmte wordt afgevoerd via een regelklep die eerst een gedeelte door de 1^{e} watercondensor leidt en vervolgens een gedeelte door de 2^{e} watercondensor. Om ervoor te zorgen dat de druk in de condensors niet te hoog wordt, en daarmee de condensortemperatuur niet teveel stijgt wordt de druk geregeld d.m.v. een IBS (installatie beheersysteem). Met deze regeling wordt ervoor gezorgd dat de efficiëntie van de koelmachine geregeld wordt. Dit wordt aangegeven met de COP (coëfficiënt of performance). De COP van een koelmachine wordt bepaald door de toegevoerde arbeid te delen door de toegevoerde elektrische energie. Hoe groter de waarde van de COP is des te beter de energie-efficiënte is. In figuur 25 wordt de bedrijfssituatie weergegeven volgens situatie drie.



Figuur 25, vrije koeling, adiabatische koeling, mechanische nakoeling en secundaire watercondensor

Situatie vier: mechanische koeling:

Mechanische koeling wordt toegepast als de watertemperatuur in het secundaire circuit hoger is dan de proceswatertemperatuur. De hybride waterkoelmachine zal nu de totale koeling leveren door mechanisch te koelen. Figuur 26 geeft het principe hiervan weer. In het systeem zijn twee condensors aanwezig. Één is bestemd voor de warmteafgifte in de luchtcondensor in de afblaaslucht. De tweede condensor is een watercondensor en zit in het secundaire circuit. De mechanische koelinstallatie heeft een hoge COP doordat de condensatiedrukken erg laag zijn. Dit heeft als gevolg dat er minder mechanische arbeid en elektrische energie geleverd hoeft te worden.



Figuur 26, mechanische koeling

De hybride koelwatermachine levert geen koude lucht, maar gekoeld water. De geleverde waterkoeling kan toegepast worden voor bijv. koelplafonds, inductie units of andere afgifte bronnen die gekoeld water nodig hebben.

Een overzicht met de voor- en nadelen van hybride waterkoelmachines zijn:

- energiebesparing van ca. 40 tot 50% t.o.v. andere koelmachines;
- condensorluchtstroom t.o.v. conventionele waterkoelmachines gereduceerd tot ca. 25%;
- decentrale koudeopwekking. (alle componenten zijn in één product verwerkt);
- een hoog haalbare COP tussen de 3,4 en 4;
- verschillende koelmogelijkheden.

De nadelen van dit systeem zijn:

- gebruik van koudemiddel.

Een overzicht van de technische specificaties van dit product zijn:

Fabrikant		Menerga
Type luchtbehandelingskast	[-]	Hybride waterkoelmachine
Luchtverplaatsing	[m³/h]	4.400 t/m 19.000**
Koelcappaciteit	[kW]	66,1 t/m 443,4*
COP	[-]	3,4 t/m 4*
Waterhoeveelheid nominaal	[m³/h]	10 t/m 43*
Kosten lbk	[€]	51.500 t/m 155.000*

*waarde afhankelijk van hoeveelheid luchtverplaatsing.

**koelcapaciteit afhankelijk van aanvoertemperatuur koud water.

Adiabatische koeling in koeltorens

In dit hoofdstuk worden de verschillende manieren van adiabatisch koelen van koeltorens beschreven [*internetbron 6, 7 en mondeling 3*]. Koeltorens worden toegepast bij het koelen van gebouwen met een grote koudevraag. Het koelvermogen bij een koeltoren begint ongeveer bij de 80 kW. De koeltorens worden toegepast voor industriepanden en voor (kantoor)gebouwen. Koeltorens zijn onder te verdelen in verschillende uitvoeringen, namelijk:

- droge koeling;
- natte koeling:
    - open koeltoren;
    - gesloten koeltoren.
- hybride koeling.

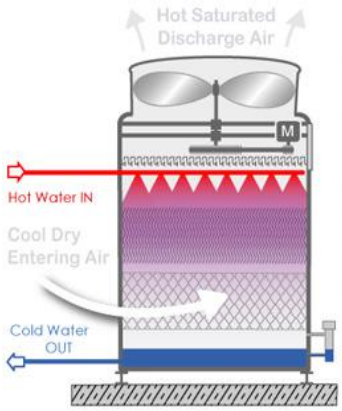
In onderstaande paragraven wordt de werking van de bovengenoemde systemen beschreven met de voor- en nadelen. Hierbij zullen alleen de koeltorens beschreven worden die gebruik maken van adiabatische koeling en welke toepasbaar zijn voor basisscholen. De werking d.m.v. drogekoeling zal niet specifiek beschreven worden. Bij droge koeling vindt de koeling plaats door lucht i.p.v. gebruik te maken van het vernevelen van water. De werking van de gesloten koeltoren wordt beschreven in bijlage A, dit omdat het systeem niet geschikt is voor het koelen van een basisschool**.** De aandachtspunten m.b.t. het plaatsen van de koeltorens zal verder in dit hoofdstuk beschreven worden.

Natte koeling van een koeltoren

Doordat droge koeltorens niet voldoende vermogen kunnen leveren voor grote (kantoor)gebouwen en industriegebouwen wordt de lucht direct bevochtigd met waterdamp. Natte koeling kan daarbij plaats vinden door een open of een gesloten koeltoren.

Open koeltoren

In een open koeltoren wordt het warme proceswater door een sproeisysteem gepompt en verdeeld over de toegevoerde verse lucht. De ventilator bovenin de koeltoren zuigt of blaast de omgevingslucht door de benevelde lucht in de koeltoren. Het warme proceswater wordt op twee manieren gekoeld. Het kleinste gedeelte wordt gekoeld d.m.v. warmte die onttrokken wordt door convectie. Convectie is de warmteoverdracht tussen de koude lucht en het warme proceswater. Het grootste gedeelte aan koeling gebeurt door verdamping. De warme lucht die ontstaat in de koeltoren wordt door een ventilator de omgeving ingeblazen. Voordat de bevochtigde lucht naar buiten wordt geblazen gaat het eerst door een druppelvanger.



Figuur 27, schematische weergave open koeltoren

Het water dat gekoeld wordt in de koeltoren valt onderaan in een bak. Het gekoelde water gaat vervolgens via een opvangbak opnieuw het proces in.

Bij het plaatsen van een open koeltoren zullen de richtlijnen die gesteld worden in het legionella beheersplan en de ISSO publicatie 55.3 nageleefd moeten worden.

De voordelen van een open koeltoren zijn:

- relatief klein vloeroppervlak nodig, om grote koelvermogens te realiseren;
- naar het proces zijn lage proceswater temperaturen haalbaar.

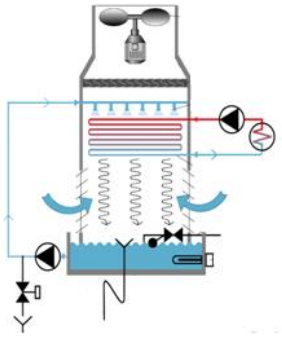
De nadelen zijn:

- kans op legionellabacterie in het systeem en in de omgeving;
- eventueel vervuild water gaat opnieuw het proces in;
- veel waterverbruik.

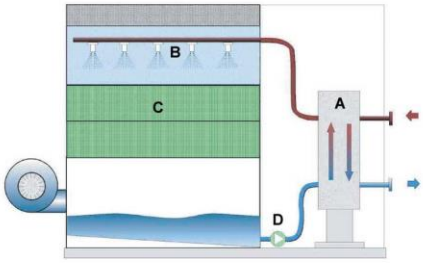
Gesloten koeltoren

De gesloten koeltorens worden vooral toegepast in de voedingsindustrie. Het proceswater mag daarbij niet direct in contact komen met de lucht. Dit wordt gedaan om vervuiling van het water tegen te gaan. Het realiseren hiervan gebeurt door het toepassen van een warmtewisselaar. De warmtewisselaar kan op twee manieren worden toegepast. Wordt de warmtewisselaar buiten de koeltoren geplaatst, dan is het principe hetzelfde als bij de open koeltoren. De warmte van het proceswater wordt in de warmtewisselaar overgedragen aan het afgekoelde koeltorenwater. Het gevolg is dat het proceswater in temperatuur daalt, en het koeltorenwater in temperatuur stijgt. Het verwarmde koeltorenwater wordt naar het sproeisysteem in de koeltoren gebracht. De verse buitenlucht wordt aangezogen in de koeltoren en door het sproeisysteem bevochtigd. Dit met het gevolg dat de temperatuur van het koeltorenwater daalt. En opnieuw het proces in gaat naar de afgifte punten in het gebouw. Deze manier wordt weergegeven in figuur 28.

Een andere optie is het gebruik maken van een gesloten proceswatercircuit door de koeltoren. Het proceswater dat opgewarmd wordt door de energiebronnen in het systeem wordt d.m.v. een pomp in circulatie gebracht. Het proceswater wordt niet in contact gebracht met de bevochtigde lucht in de koeltoren. De warmteoverdracht vind plaats doordat de bevochtigde lucht in de koeltoren de proceswaterleidingen afkoelt en de bevochtigde lucht op warmt. Het gekoelde proceswater gaat vervolgens naar de verbruikers (productiemachines, condensors ed.) en de warmtewisselaar. Het proces wordt weergegeven in figuur 29. De bevochtigde lucht boven sproeiers worden opgevangen door druppelvangers.



Figuur 29, warmtewisselaar buiten koeltoren



Figuur 28, gesloten circuit proceswater door koeltoren

De voordelen van dit systeem zijn:

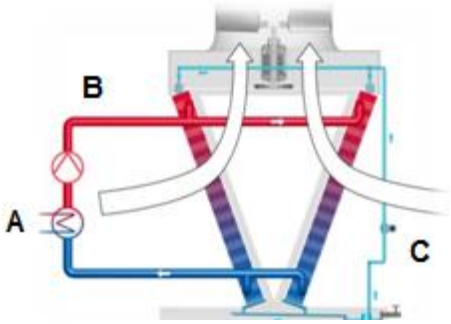
- koelgrens: natteboltemp. +4K;
- geringe vloeroppervlakte benodigd;
- gesloten proceswatercircuit, waardoor er geen vervuiling in het proceswater optreed.

De nadelen van dit systeem zijn:

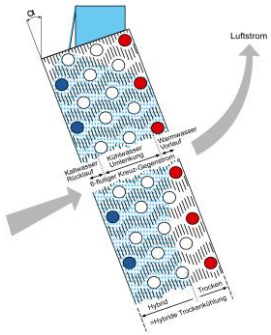
- veel waterverbruik en chemieverbruik;
- pluimvorming;
- kans op legionellabacterie.

Hybride droge koeling

Een hybride drogekoelinstallatie werkt d.m.v. een gesloten koelwatercircuit. Het circuit a in figuur 30 is verbonden met de verschillende koude afgifte punten in het gebouw. Het koelwater zal door circuit b in een gesloten systeem door het koelelement circuleren. Uit een waterbak onderaan de koeltoren, wordt water gepompt naar de sproeiers bovenin de koeltoren. Dit is weergegeven als circuit c in figuur 30. Het water wordt door de sproeiers tot hoge druk verneveld. Dit gebeurt onder een druk van 4 t/m 8 bar. In de zomer wordt het water over de koelelementen, langs de lamellen verspreid. Door het ontwerp zal er geen water aan de binnenkant van de koeltoren komen. Dit is van belang zodat de ventilatoren geen bevochtigde lucht naar buiten afzuigen. De verdeling van het water is weergegeven in figuur 31. Het warme proceswater stroomt daarbij door allemaal kleine buizen langs de zijkant van het koelelement. De lucht wordt daarbij aan de zijkant van de koeltoren aangezogen door ventilatoren. De lucht zal door het bevochtigde koelelement bevochtigd worden. Door het adiabatische principe zal de lucht de warmte opnemen, waardoor het proceswater in temperatuur daalt. Het water wordt opgevangen in een bak onderaan de koeltoren.

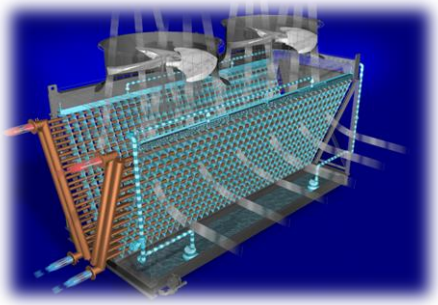


Figuur 31, vooraanzicht hybride droge koeling



Figuur 30, waterverdeling over lamel

Het opgevangen water wordt vervolgens opnieuw het proces in gepompt. Het water in de opvangbak wordt minimaal één keer in de twee dagen ververst. In de winter vindt er geen bevochtiging van het water plaats. Het koelwatercircuit wordt nu totaal luchtgekoeld. Wanneer er in het voor- en najaar het koelwatercircuit niet voldoende gekoeld kan worden door de buitenlucht, wordt er één van de twee koelelementen bevochtigd. Het gevolg is dat het proceswater op de gewenste temperatuur geregeld kan worden. De hybride droge koeling wordt weergegeven in figuur 30 en figuur 32.



Figuur 32, zijaanzicht hybride droge koeling

De voordelen van dit systeem zijn:

- koelgrens: natteboltemperatuur +5°C;
- gesloten watercircuit;
- minder operationele kosten i.v.m. het toepassen van een koeltoren;
- minder vloeroppervlak dan een droge koeler;
- geen pluimvorming.

Het nadeel van dit systeem zijn de hogere investeringskosten t.o.v. een koeltoren met hetzelfde koelvermogen.

Aandachtpunten bij het plaatsen van een koeltoren

Bij het plaatsen van een koeltoren moet er gelet worden op een aantal belangrijke punten:

- de koeltoren dient buiten te worden opgesteld;
- de positionering t.o.v. koelwatergebruikers in verband met installatiekosten;
- de opstellingshoogte in verband met leegloop;
- het bedrijfsgewicht in verband met de onderconstructie;
- vrije aanstroming van omgevingslucht;
- aanzuigopeningen niet plaatsen bij de uitblaas van warmtevoerende apparaten;
- plaatsing van de uitblaasopening zodanig dat de uitblaaslucht niet naar de aanzuig van andere koelapparaten of lbk kasten stroomt;
- recirculatie van de uitblaaslucht een mogelijk probleem;
- de koeltoren moet goed bereikbaar zijn voor inspectie en onderhoud;
- gekozen plaats gunstig ten aanzien van geluidsemissie;
- voorkom zonlichtinstraling;
- selecteer een koeltoren met lage druksproeiers en hoog rendementdruppelvangers;

(citaat: Knoll, W.H. ; Wagenaar, E.J.; Weele A.M., (2002). Handboek Installatietechniek. Rotterdam: Isso. Hoofdstuk 3.16. 11 blz 766)

Naast deze aandachtspunten moet er voor elk te plaatsen koeltoren een vergunning bij de gemeente aangevraagd worden. Dit is van belang om bij een eventuele calamiteit in de omgeving snel te kunnen achterhalen waar en hoeveel koeltorens in een bepaald gebied zijn. Bij het geven van een vergunning zal goed gekeken worden in welk gebied de koeltoren geplaatst wordt. Hierbij zal een legionella beheersplan uitgevoerd worden, met de daarbij horende uitblaascondities van de koeltoren. De plaats waar een koeltoren geplaatst wordt ingedeeld in verschillende risicocategorieën, te weten:

Risicocategorie voor natte koeltorens	Locatie natte koeltoren
1 (hoog risico)	Natte koeltoren < 200 m van een ziekenhuis, verpleeghuis of ander zorginstelling waar mensen verblijven met een verminderd immuunsysteem
2	Natte koeltoren < 200 m van verzorgingstehuizen, hotels of andere gebouwen waarin zich veel mensen verblijven
3	Natte koeltoren < 600 m van een woonomgeving
4 (laagste risico)	Natte koeltoren op een afstand > 600 m van een woonomgeving

Tabel 7, risicocategorie t.b.v. natte koeltorens

Bij het toepassen van koeltorens kunnen alleen natte koeltorens een legionellabacterie veroorzaken. De aandachtspunten waar goed op gelet moet worden bij het toepassen van natte koeltorens zijn:

- de watertemperatuur;
- stilstand/ verblijftijd/ opeens tot stilstand komen van het water;
- vervuiling van de koeltoren door biologische verontreiniging;
- biofilm en sedimentvorming;
- verspreiding van aerosolen.

Stilstaand water vergroot het risico op het ontstaan van biofilm. Biofilm is een voedingsbron en bescherming van de legionellabacterie. Het ontstaan van biofilm en sedimentvorming is afhankelijk van de waterkwaliteit, ruwheid van het materiaaloppervlak, kalkopzetting en wateropnemende eigenschap van het materiaal. Zoals eerder is beschreven zorgt de verspreiding van aerosolen voor de grootste problemen. Aerosolen met een diameter <5 micron kunnen in de longblaasjes terecht komen. Het gevaar is dat de aerosolen door de wind mee genomen worden. Dit kan als gevolg hebben dat mensen die besmet raken op enkele kilometers van de bron (koeltoren) zijn geweest.

Voorzorgsmaatregelen

Monsterafname water

Het water wat toegepast wordt in de koeltorens moet gecontroleerd worden op bacteriën. Dit wordt gedaan om er zeker van te zijn dat er geen legionellabacterie in het water van de koeltorens aanwezig is. Het water wordt gecontroleerd door het nemen van monsters. De periode voor het afnemen van monsters is afhankelijk van de risicocategorie [*literatuur 4*]. De risicocategorie wordt bepaald door de standplaats van de koeltoren en is beschreven in paragraaf 5.3. De periode voor het controleren per risicocategorie wordt weergegeven in tabel 8.

Risicocategorie	Minimum periode monsterafname
1	1 keer per maand
2	1 keer per kwartaal
3	1 keer per kwartaal tot 1 keer per jaar
4	1 keer per jaar

Tabel 8, overzicht monsterafname per risicocategorie

Uit de monsterafname zal een kve per liter (kiem vormende eenheid per liter) gemeten worden. Deze gemeten waarde geeft het risico aan van de bacteriën in het water. Is de kve/ l in het water te groot dan kan dit tot het gevolg hebben dat legionella bacteriën met verontreinigde aerosolen de lucht in wordt geblazen door de koeltoren. Voor de verschillende metingen zijn er protocollen opgesteld. Dit kan leiden tot het uitschakelen van het systeem. Een overzicht met de gemeten kve/l en de daarbij horende aanpak is weergegeven in tabel 9.

Risicocategorie 1, 2 of 3	Gevolg
< 100 kve/l	A
100 – 1.000 kve/l	B
1.000 – 10.000 kve/l	C
10.000 – 100.000 kve/l	D, E
>100.000 kve/l	E, F

Risicocategorie 4	Gevolg
< 1.000 kve/l	A
1.000 – 10.000 kve/l	B
10.000 – 100.000 kve/l	C
100.000 – 1.000.000 kve/l	D, E
>1.000.000 kve/l	E, F

Tabel 9, overzicht gemeten kve/l met de daarbij horende gevolgen

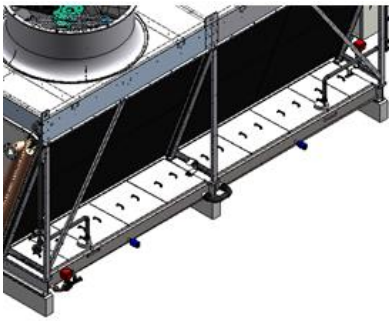
De gevolgen voor de koeltorens met de daarbij horende vervolgstappen zijn:

A. systeem is geheel onder controle: geen actie.
B. controleer via het behandelingsprogramma of alle doseringen in orde zijn: geen verdere actie.
C. controleer het behandelingsprogramma: geef extra dosering biocide.
D. het systeem is matig vervuild en verdient onmiddellijk bijzondere aandacht.
   doe onderzoek naar de oorzaak. Laat het water analyseren op legionella.
E. controleer of werknemers of bezoekers mogelijk kunnen zijn blootgesteld aan aërosolen uit de besmettingsbron. Meld de situatie direct aan de milieudienst en/of de arbodienst.
F. het systeem is ernstig vervuild en vereist onmiddellijk extra aandacht.
   Stop het systeem direct nadat de te koelen installatie is veilig gesteld. Desinfecteer en reinig het systeem volgens de procedure die van toepassing is op de installatie. Doe onderzoek naar de oorzaak. Laat het water analyseren op legionella.

UV lampen

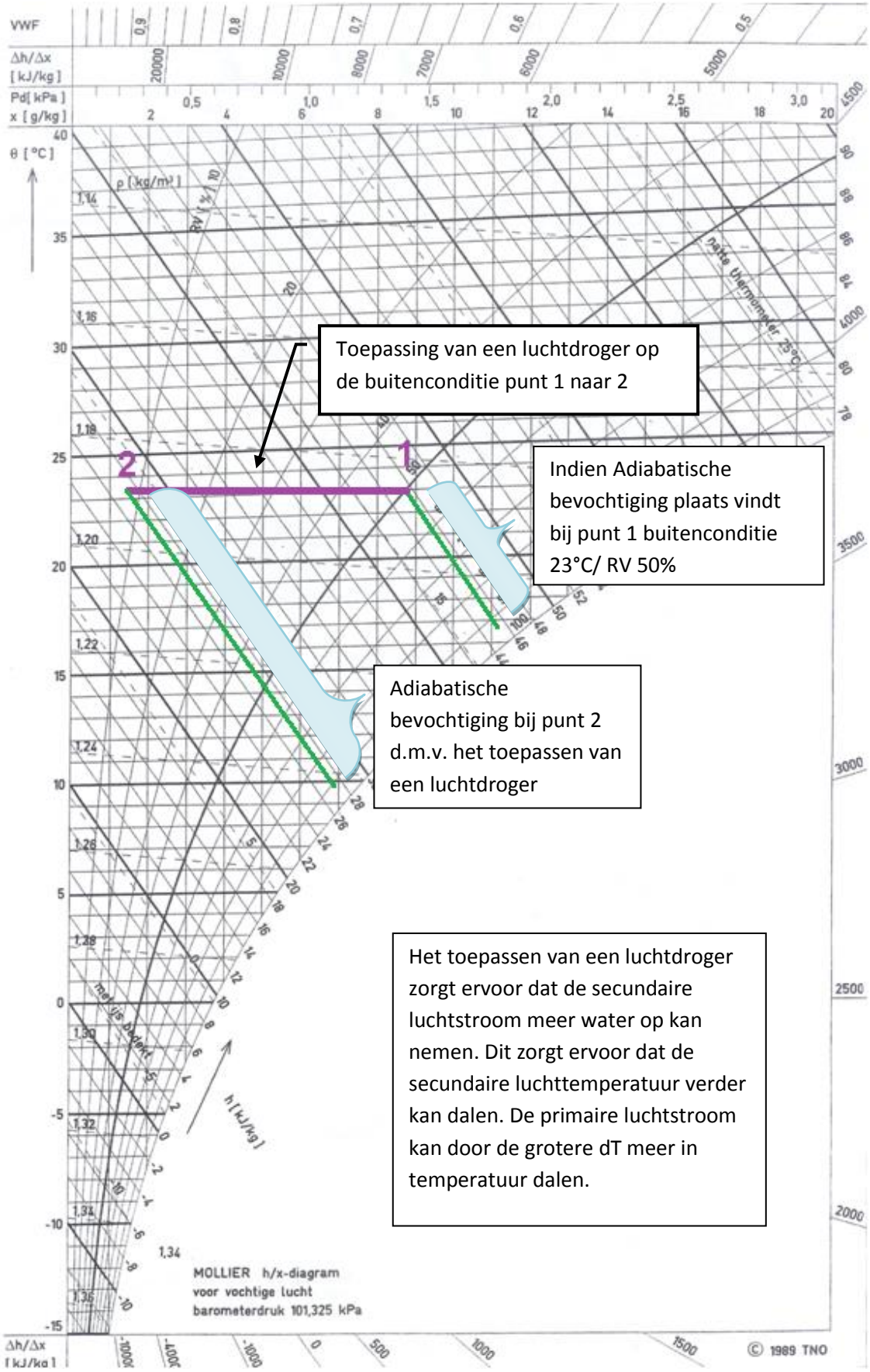
In een koeltoren wordt het water in een opvangbak opgeslagen. Het water uit de opvangbak wordt vervolgens gerecirculeerd in de koeltoren. De gevolgen zijn dat er water bespaard wordt en de wachttijd voor het proces gering blijft. Het proces wordt snel in werking gebracht doordat het water uit de opvangbak direct naar de besproeiingsinstallatie wordt gepompt. Wanneer de koeltoren uitstaat zal het water enige tijd stilstaan in de opvangbak. Voor het vormen van de legionellabacterie zal dit de ideale situatie zijn. Doordat het water wat afkomstig is van de besproeiing de warmte van het proces heeft opgenomen. Om de risico's zo klein mogelijk te houden kunnen er naast monsterafname ook UV lampen boven de waterbak geplaatst worden [*mondeling 3*]. De UV lampen zorgen ervoor dat de verschillende bacteriën in het water verdwijnen. Het nadeel van deze oplossing is dat het extra aanschafkosten met zich mee brengt. De opvangbak kan worden bedekt met een zogenoemde reservoirafdekking, zoals aangegeven is in figuur 34. Door deze optie toe te passen wordt het water niet door zonnestralen opgewarmd. Daarnaast voorkomt de reservoirafdekking dat er vuil van buitenaf in het water terecht komt.

Figuur 34, UV lampen boven opvangbak koeltoren



Figuur 33, reservoirafdekking koeltoren

Bijlage C Toepassing van een Luchtdroger



Bijlage D Bouwkundige gegevens referentie basisschool

Bouwfysische gegevens van de basisschool

Omschrijving	dikte [m]	warmtegeleiding [W/m²K]
Binnenwand		
Gipsplaat	0,015	0,35
Minerale wol	0,04	0,04
Gipsplaat	0,015	0,35
Buitenwand		
Steen buiten	0,105	1
Spouw	0,04	0,169
PUR	0,045	0,049
PUR	0,17	0,049
Gipsplaat	0,013	0,35
Begane grond vloer		
Linoleum	0,008	0,08
Beton	0,2	0,35
PS schuim	0,095	0,04
Tussenvloer		
Gipskarton	0,01	0,35
Spouw	0,04	0,2
Systeem vloer	0,167	0,55
Afwerklaag	0,05	1,3
Linoleum	0,008	0,08
Dak		
Dakleer	0,03	0,5
Schuim pol	0,18	0,038
Schuim pol	0,02	0,038
Grindbeton	0,2	1,4
Spouw vert.	0,4	0,169
Kurk	0,001	0,04

Raamconstructie HR ++		Eenheid
U waarde	1,058	[W/m²K]
ZTA	0,12	[-]
CF waarde	0,086	[-]
LTA	0,148	[-]
Absorptie glas	0,24	[-]

Bijlage E Handleiding gemaakte Excel bestanden

Ontwerp rekentool

Na het lezen van dit hoofdstuk wordt het voor de lezer duidelijk hoe de werking en opbouw van de rekentool is. De rekentool bestaat daarbij uit twee Excel bestanden. De bestanden zijn genaamd 'spreadsheet' en 'berekening adiabatische koeling'. Beide bestanden hebben betrekking op het berekenen van de adiabatische koeling. De uitleg over de werking van de bestanden is m.b.v. Excel 2007 weergegeven. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van een andere versie van Excel dan kan onderstaande beschrijving afwijken.

Handleiding Excel bestand spreadsheet

In deze paragraaf wordt de werking van het Excel bestand 'spreadsheet' beschreven. Na het lezen van deze paragraaf moet het voor de gebruiker duidelijk zijn hoe het bestand werkt. Het bestand is opgebouwd uit verschillende tabbladen, genaamd:

- inleesgegevens KNMI station;
- ruimtegegevens;
- rekenblad;
- invoergegevens
- mollier.

Per benodigd tabblad zal beschreven worden welke gegevens ingevoerd moeten worden. Daarbij wordt beschreven welke uitkomsten er gegenereerd worden om tot het juiste resultaat te komen.

Tabblad inleesgegevens KNMI station

Dit tabblad is de ruggengraat van de berekening. Dit komt doordat de gegevens van een willekeurig KNMI station in dit tabblad worden ingelezen.

Inlezen klimaatgegevens:

De klimaatgegevens worden gedownload via de website: http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/select_uur.cgi?language=nl. Wanneer dit adres geopend wordt kan de gewenste periode geselecteerd worden. De maximale inleesperiode in het Excel bestand is een jaar. Voor de berekening is het van belang dat alle elementen die aangegeven worden op de website aangezet worden. Hiermee wordt bedoelt o.a. windrichting, -snelheid,-hoogte, minimumtemperatuur, relatieve vochtigheid etc.. Dit is van belang om de juiste gegevens in de juiste cel in Excel in te lezen. Onderaan de website kan een keuze gemaakt worden voor het gewenste KNMI station. Nadat alles geselecteerd is kan de informatie gedownload worden via de knop 'download dataset'. Deze knop is aangegeven onderaan de website. Het bestand dat gedownload is kan door de gebruiker in een gewenste map op de schijf gezet worden.

Nu de gewenste gegevens bekent zijn kan het inlezen van de gegevens in het Excel bestand plaats vinden. Het inlezen van de gegevens gebeurt door het doorlopen van de volgende stappen:
Na het openen van het Excel bestand 'spreadsheet' is in de hoofd toolbar '*gegevens'* zichtbaar. Via gegevens is er links boven in het scherm de mogelijkheid om *externe gegevens op te halen van tekst*. Wanneer de gebruiker voor deze optie kiest dient het tekstbestand met de uurgegevens van de KNMI geselecteerd te worden. Na het selecteren van het tekstbestand komt er een keuzebestand

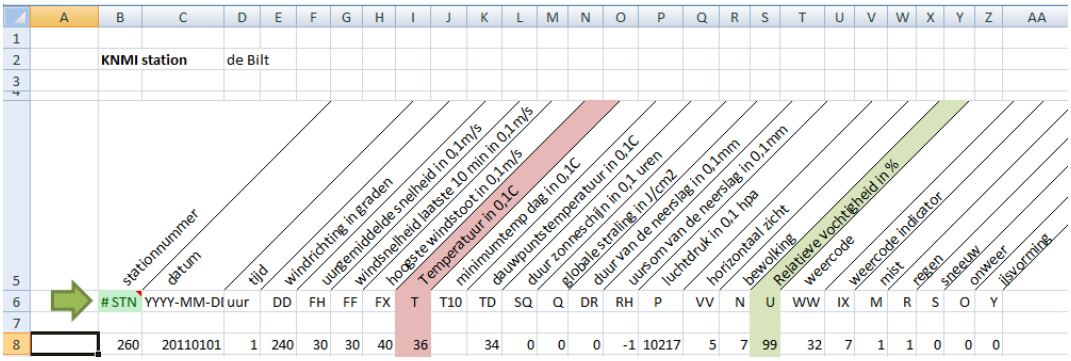
naar voren waarbij drie stappen doorlopen dienen te worden. De stappen worden hieronder weergegeven:
Stap 1 geeft de keuze weer voor welke gegevens de gebruiker in het tekstbestand ingelezen wil hebben. Hierbij dient geselecteerd te worden bij *oorspronkelijke gegevenstype* 'gescheiden'. Met deze keuze worden de waarden tussen een komma of een tab apart vermeld in een cel in Excel.

Een belangrijk tweede punt in stap 1 is het aangeven van de te starten rij in het tekstbestand. De rijweergave met nummering wordt onder de rijkeuze weergegeven. De rij die geselecteerd dient te worden moet beginnen bij #STN YYYY-MM-DD etc. en als volgende regel de uurgegevens per element. Na deze gegevens geselecteerd te hebben kan er via volgende naar stap 2 gegaan worden.

In stap 2 dienen de scheidingstekens te worden aangegeven. In dit geval dienen de Tab en komma aangevinkt te worden. Na dit ingevuld te hebben ga je via volgende naar stap 3.

In stap 3 kan het gegevenstype per kolom aangegeven worden. Voor alle cellen kan standaard ingevuld worden.

De doorlopen stappen kunnen voltooid worden door op de knop voltooien te klikken. Het bestand vraagt nu om een cel te selecteren waar de gegevens ingelezen kunnen worden. De cel die geselecteerd dient te worden in het tabblad inleesgegevens KNMI station is cel B6. Deze cel wordt aangegeven met een groene pijl in figuur 36.



Figuur 35, weergave inleesgebied KNMI gegevens

Wanneer de cel geselecteerd is worden de klimaatgegevens over de periode in het tabblad ingevuld. Wanneer er gekozen wordt om een ander referentiejaar te kiezen dan dienen de gegevens die ingelezen zijn te worden verwijderd.

Figuur 36, button voor inhoud cellen wissen

Tabblad ruimtegegevens

De buitencondities per uur en dag worden vanuit het tabblad inleesgegevens KNMI station overgenomen. Dit wordt gedaan om evt. beperkingen en correcties uit te voeren op de gegevens. In dit tabblad kan een keuze gemaakt worden voor welke gebouwfunctie het rekenblad toegepast wordt. De gebouwfuncties waaruit geselecteerd kan worden zijn een basisschool, hogeschool,

kantoor, utiliteitsgebouw of gezondheidszorg. Eventuele aanvullingen van gebouwen kunnen worden ingevuld in het tabblad invoergegevens.

Een belangrijk onderdeel van de berekening is het bepalen van het aantal uren dat het een bepaalde temperatuur en RV is geweest. Het voordeel van adiabatische koeling kan in kaart worden gebracht wanneer duidelijk is wanneer het gebouw geopend is. Binnen deze tijden zal de installatie werken en gebruik maken van de adiabatische koeling. In het tabblad kunnen de openingstijden geselecteerd worden. De openingstijden zijn gebaseerd op hele uren. Na de openingstijden kan het inleesjaar van de buitencondities worden aangegeven.

De meeste gebouwen zijn in het weekend gesloten. De adiabatische koeling is in dit geval niet van toepassing op de besparing. In dit tabblad kunnen de zondag en zaterdag uit de berekening gefilterd worden. Dit wordt gedaan door het onderstaande getal in de geel gearceerde cel H8 en H9 in te vullen:

- 0 en 8: gebouw is de gehele week open;
- 1: zondag gesloten;
- 7: zaterdag gesloten.

De beperking van evt. vakanties dienen handmatig uit dit tabblad verwijderd te worden. Met deze gegevens zal vervolgens niet verder worden gerekend.

De ingevulde buitencondities worden vervolgens d.m.v. het tabblad rekenblad doorgerekend. Het rekenblad rekent over een jaar hoeveel uren het een bepaalde temperatuur en RV is geweest.

Tabblad mollier

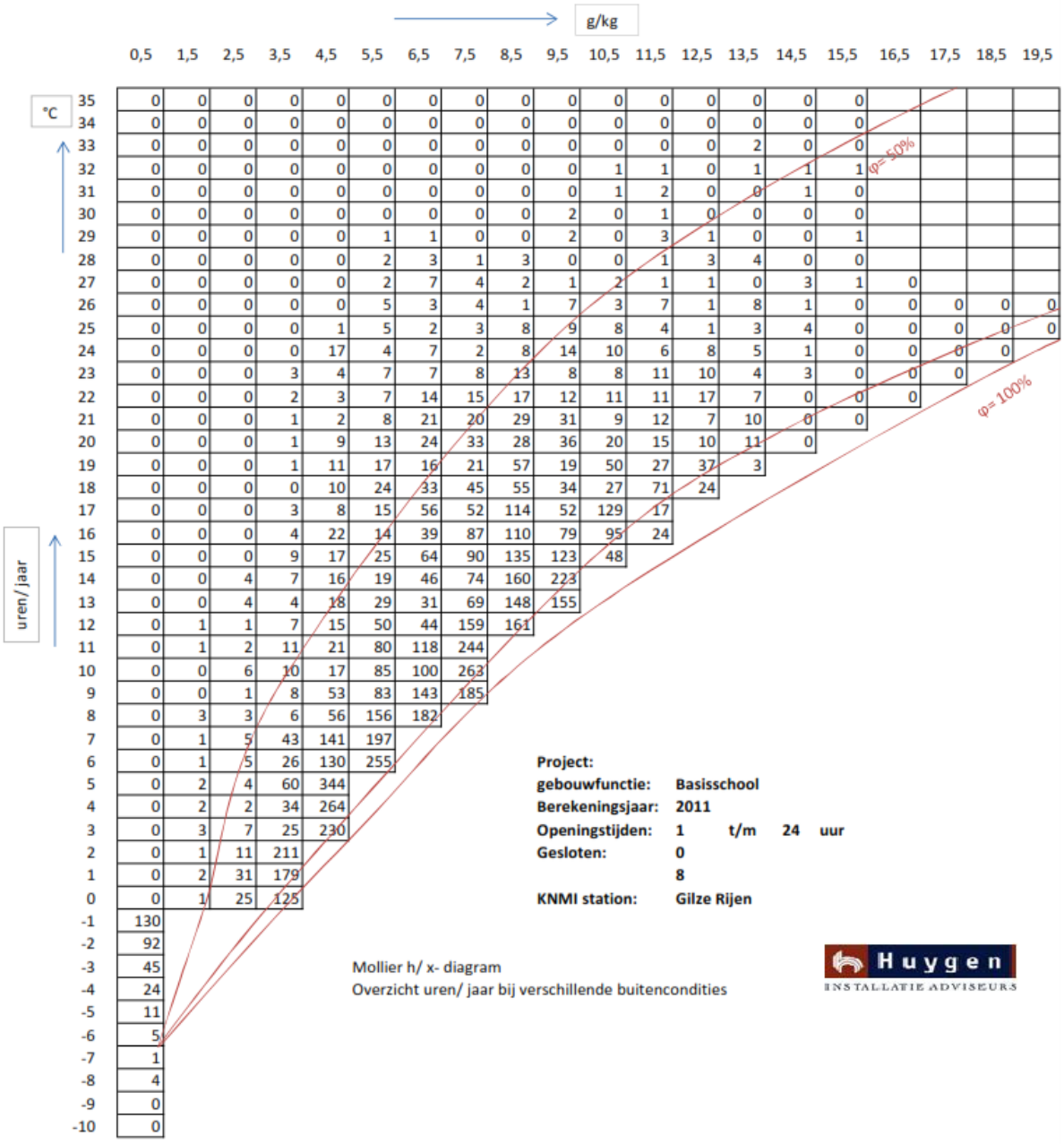
De geselecteerde waarden uit de vorig beschreven tabbladen worden nu gegenereerd naar een mollier diagram. Vanuit het rekenblad wordt het aantal uur weergegeven hoe vaak het een bepaalde temperatuur en RV is geweest. In het mollier diagram wordt de temperatuur, absolute vochtgehalte en RV weergegeven. De getalswaarden die in de kolommen in het mollier diagram staan is het overzicht van het aantal uur dat het een specifieke buitenconditie is geweest. Daarbij is het aantal uur gemeten tussen een bepaalde tolerantie van de temperatuur. Daarbij is voor bijv. de temperatuur 14°C de uren gerekend tussen de 13,5°C en 14,5°C.

Via de luchtbehandeling wordt de ruimte gekoeld. De temperatuur waarmee ingeblazen wordt is afhankelijk van de keuze van de ontwerper. In het berekening blad is het gebied gearceerd wat toegepast kan worden voor adiabatische koeling groen gearceerd. De selectie is daarbij gemaakt op een inblaastemperatuur van 16°C.

Uit de technische gegevens blijkt dat de bevochtiging van de lucht tot 95% plaats vind. In het mollier diagram zijn de RV lijnen voor 50%, 95% en 100% weergegeven.

In een jaar wanneer er geen schrikkeljaar is kan de gebruiker de uitkomsten controleren. Dit kan gedaan worden in het tabblad mollier. De openingstijden dienen geselecteerd te worden op 1 t/m 24 uur. De sluiting in het weekend dient daarbij ook uit te staan. Deze gegevens kunnen ingevuld worden zoals eerder beschreven in het tabblad ruimtegegevens. De som van alle uren zal daarbij op 8760 uur komen. Een schrikkeljaar heeft een dag extra. Dit zal als som in het resultaat 24 uur meer opleveren.

Het resultaat van de berekening is in onderstaande afbeelding weergegeven:



°C \ g/kg	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0				
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1				
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0				
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0				
29	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	3	1	0	0	1				
28	0	0	0	0	0	2	3	1	3	0	0	1	3	4	0	0				
27	0	0	0	0	0	2	7	4	2	1	2	1	1	0	3	1	0			
26	0	0	0	0	0	5	3	4	1	7	3	7	1	8	1	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	1	5	2	3	8	9	8	4	1	3	4	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	17	4	7	2	8	14	10	6	8	5	1	0	0	0	0	
23	0	0	0	3	4	7	7	8	13	8	8	11	10	4	3	0	0	0		
22	0	0	0	2	3	7	14	15	17	12	11	11	17	7	0	0	0			
21	0	0	0	1	2	8	21	20	29	31	9	12	7	10	0	0				
20	0	0	0	1	9	13	24	33	28	36	20	15	10	11	0					
19	0	0	0	1	11	17	16	21	57	19	50	27	37	3						
18	0	0	0	0	10	24	33	45	55	34	27	71	24							
17	0	0	0	3	8	15	56	52	114	52	129	17								
16	0	0	0	4	22	14	39	87	110	79	95	24								
15	0	0	0	9	17	25	64	90	135	123	48									
14	0	0	4	7	16	19	46	74	160	223										
13	0	0	4	4	18	29	31	69	148	155										
12	0	1	1	7	15	50	44	159	161											
11	0	1	2	11	21	80	118	244												
10	0	0	6	10	17	85	100	263												
9	0	0	1	8	53	83	143	185												
8	0	3	3	6	56	156	182													
7	0	1	5	43	141	197														
6	0	1	5	26	130	255														
5	0	2	4	60	344															
4	0	2	2	34	264															
3	0	3	7	25	230															
2	0	1	11	211																
1	0	2	31	179																
0	0	1	25	125																
-1	130																			
-2	92																			
-3	45																			
-4	24																			
-5	11																			
-6	5																			
-7	1																			
-8	4																			
-9	0																			
-10	0																			

Figuur 37, overzicht h/a in Mollier-diagram

Uit de optelling van alle uren uit figuur 38 is gebleken dat er totaal 8760 uur zijn. Conclusie is dat de berekende gegevens over een jaar goed berekend worden. De gegevens uit het mollier diagram worden vervolgens gebruikt in het Excel sheet berekeningen.

Handleiding Excel bestand berekening adiabatische koeling

In deze paragraaf wordt de werking van het Excel bestand 'berekening adiabatische koeling' beschreven**.** Na het lezen van deze paragraaf moet het voor de gebruiker duidelijk zijn hoe het bestand werkt. Het bestand is opgebouwd uit verschillende tabbladen, genaamd:

- directe adiabatische koeling;
- indirecte adiabatische koeling;
- h-a mollier gegevens;
- enthalpie gegevens;
- invoergegevens.

Tabblad directe adiabatische koeling

Dit tabblad geeft de mogelijkheid voor het berekenen van de bespaarde energie aan directe adiabatische koeling. De uitkomsten van dit tabblad zijn:

- bespaard koelvermogen t.o.v. conventioneel systeem;
- waterverbruik;
- extra benodigd koelvermogen.

In het tabblad dienen de geel gearceerde gegevens ingevoerd te worden. Dit zijn de gegevens over de luchthoeveelheid, buiten- en inblaasconditie, elektriciteitsprijs en de bestemming waar het gebouw gesitueerd is. Het aantal uren dat directe adiabatische koeling toegepast kan worden wordt aangegeven in het tabblad h-a mollier gegevens.
Wanneer deze gegevens ingevoerd zijn worden de besparingen en kosten over de ingevoerde periode weergegeven. Doordat er een vaste buitenluchtconditie is ingevoerd kunnen de uitkomsten variëren. De oorzaak is dat de buitenluchttemperatuur telkens varieert.

Tabblad indirecte adiabatische koeling

In dit tabblad worden de besparingen en kosten berekent m.b.t. indirecte adiabatische koeling. Net als in het tabblad directe adiabatische koeling dienen de geel gearceerde cellen ingevoerd te worden. Wanneer deze gegevens ingevoerd zijn zal de Excel sheet de diverse berekening doorvoeren. De uitkomsten van dit tabblad geven een overzicht van de energiekosten weer, namelijk:

- energiekosten t.g.v. ventilatoren;
- energiekosten t.g.v. adiabatische koeling water;
- energiekosten t.g.v. adiabatische koelingstroom.

De besparing aan elektra kosten door het gebruik maken van indirecte adiabatische koeling wordt daarbij weergegeven.

Het aantal uren dat beschikbaar is voor indirecte adiabatische koeling dient aangegeven te worden in het tabblad h-a mollier gegevens. De manier op welke manier dit dient te gebeuren wordt in de volgende paragraaf beschreven.
Het totale verbruik aan kWh wordt mede bepaald d.m.v. het tabblad enthalpy gegevens. Hierbij wordt het verschil in enthalpie berekent tussen de buitentemperatuur en de inblaastemperatuur.

Tabblad h-a mollier

In dit tabblad worden de uren voor directe en/ of indirecte adiabatische koeling berekend. De uren/ jaar gegevens worden uit het Excel bestand spreadsheet bepaald. Wanneer de gegevens in de spreadsheet gewijzigd worden zal het doorgevoerd worden in dit tabblad. Om te bepalen welke gebieden geschikt zijn voor adiabatische koeling dient het Mollier-diagram opgesplitst te worden in zeven gebieden. De verdeling van de gebieden is beschreven in hoofdstuk 8 van het verslag. De toepasbare uren die gebruikt kunnen worden m.b.t. adiabatische koeling dienen in het Mollier-diagram met de aangegeven kleur gearceerd te worden. Als hulplijn zijn hiervoor de zeven gebieden weergegeven in het diagram. Wanneer de cel gearceerd wordt zullen de beschikbare uren m.b.t. indirecte adiabatische koeling geteld worden. Het aantal beschikbare uren wordt daarbij aangegeven in de tabbladen (in)directe adiabatische koeling.

Tabblad enthalpie gegevens

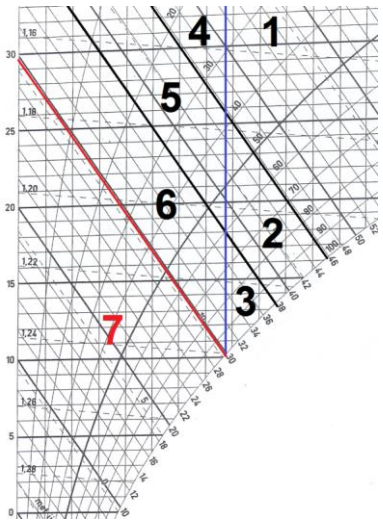
In dit tabblad dienen de enthalpie waarden op dezelfde wijze gearceerd te worden als beschreven is in tabblad h-a mollier. Als gevolg van de arcering wordt het elektrische energieverbruik berekent over de voorgekomen uren. De besparing aan kWh wordt vervolgens doorberekend. Met behulp van deze gegevens kan bepaald worden wat de totale besparing op het verbruik van elektriciteit is.

Tabblad invoergegevens

In het tabblad invoergegevens is er de mogelijkheid tot het invoeren van gegevens m.b.t. macro’s. hierin kunnen de bestaande macro’s aangevuld worden of evt. nieuwe waarden aangevuld/ gewijzigd worden.

Bijlage F Weergave werking van de luchtbehandelingskast in één van de zeven gebieden

In hoofdstuk acht van het verslag wordt uitleg gegeven over het verdelen van het Mollier-dragram in zeven gebieden. In bijlage D wordt weergegeven welke componenten in de luchtbehandelingskast ingeschakeld zijn per gebied.



1= Indirecte adiabatische koeling, mechanische koeling en eventuele ontvochtigen.

2= Gedeeltelijke vrije koeling en ontvochtigen.

3= Volledige vrije koeling en ontvochtigen.

4= Directe adiabatische koeling en mechanische koeling.

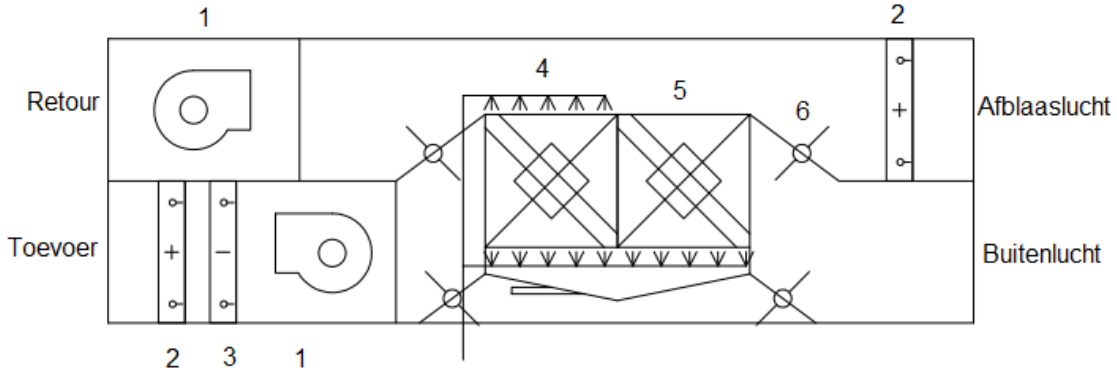
5= Gedeeltelijke vrije koeling en directe adiabatische koeling

6= Volledige vrije koeling en directe adiabatische koeling.

7= Verwarmen, vrije- en directe adiabatische koeling.

Indirecte adiabatische koeling

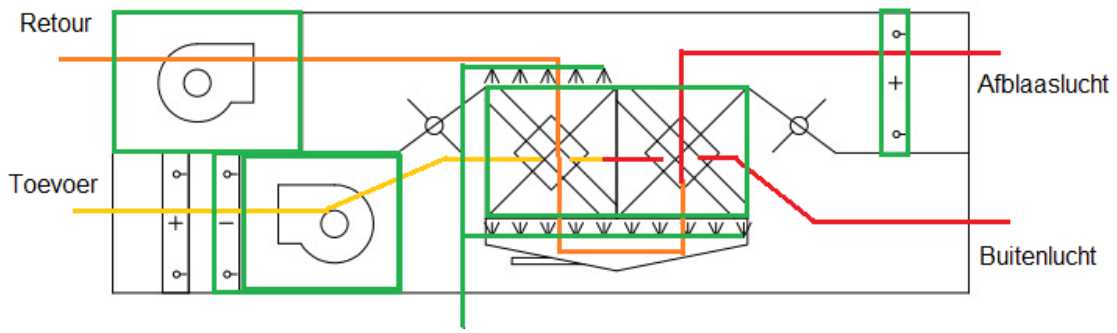
De opbouw van de luchtbehandelingskast waarbij indirecte adiabatische koeling toegepast wordt is weergegeven in onderstaande afbeelding. Het bepalen van de schakeling in de luchtbehandelingskast wordt bepaald door de buitenluchtcondities en retourcondities. In de luchtbehandelingskast zijn hiervoor temperatuurmeters en vochtigheidsmeters opgenomen.



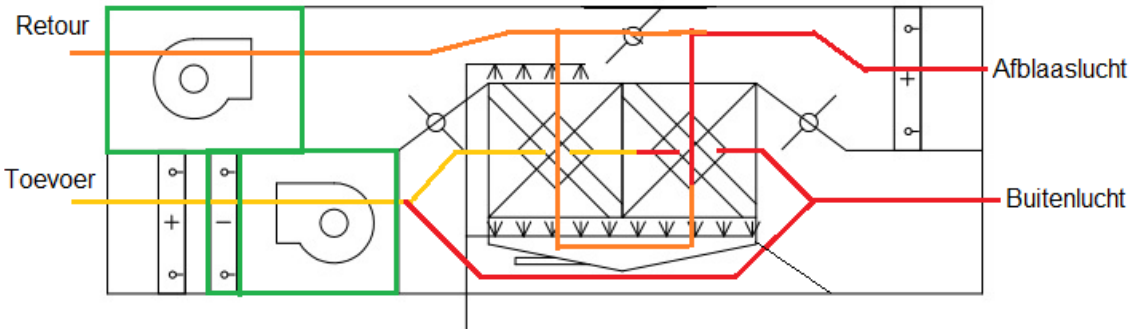
1:	ventilator	4:	waterbevochtiging (adiabatische bevochtiging)
2:	(na)verwarmer	5:	kruisstroomwisselaar
3:	(na)koeler	6:	kleppenregister

Gebied 1 indirecte adiabatische koeling en ontvochtiging:

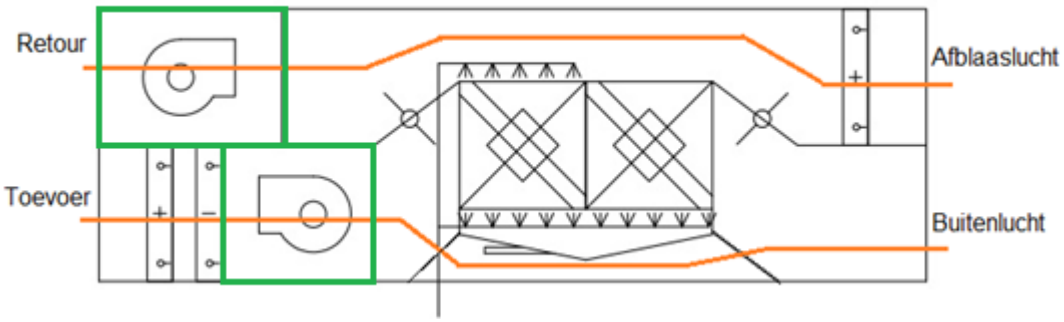
Bij de buitencondities in gebied 1 zullen de groen gearceerde toestellen ingeschakeld zijn. Dit zijn de ventilatoren, adiabatische bevochtiging, nakoeler en evt. de naverwarmer in de afblaaslucht. De naverwarmer in de afblaaslucht zorgt ervoor dat de eventuele waterdamp uit de afzuiglucht wordt verdampt.



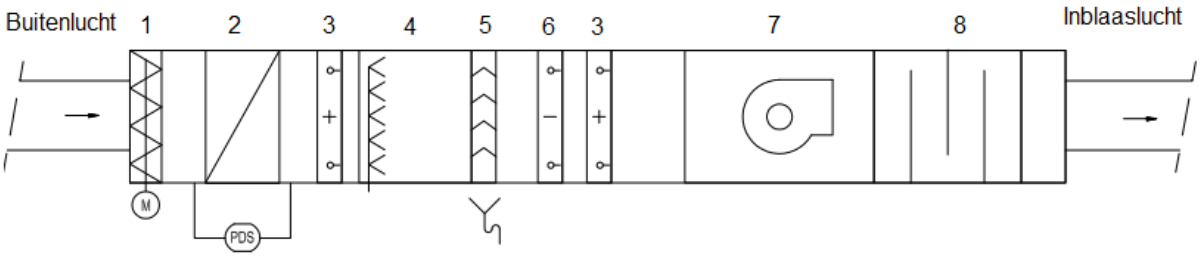
Gebied 2 gedeeltelijke vrije koeling en ontvochtiging:
In gebied 2 is er gedeeltelijk vrije koeling en indien nodig evt. nakoeling. De adiabatische bevochting vind niet meer plaats om de lucht te koelen.



Gebied 3 volledig vrije koeling en ontvochtiging:
Wanneer de buitencondities zich in gebied 3 bevinden, vindt er volledig vrije koeling plaats. In deze toestand zorgen de ventilatoren voor het verplaatsen van de luchtstroom.

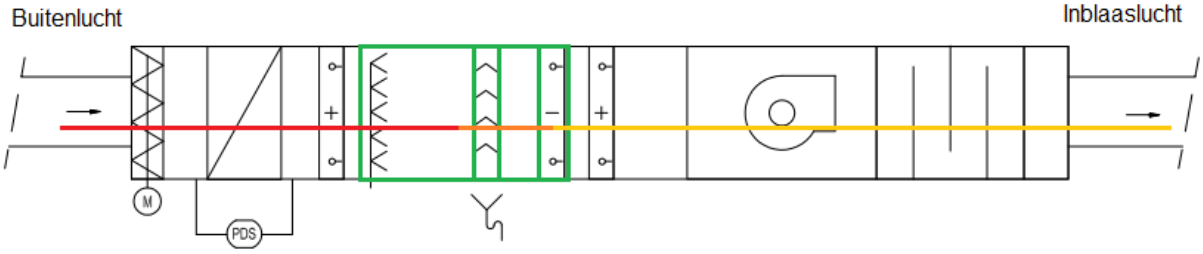


Directe adiabatische koeling

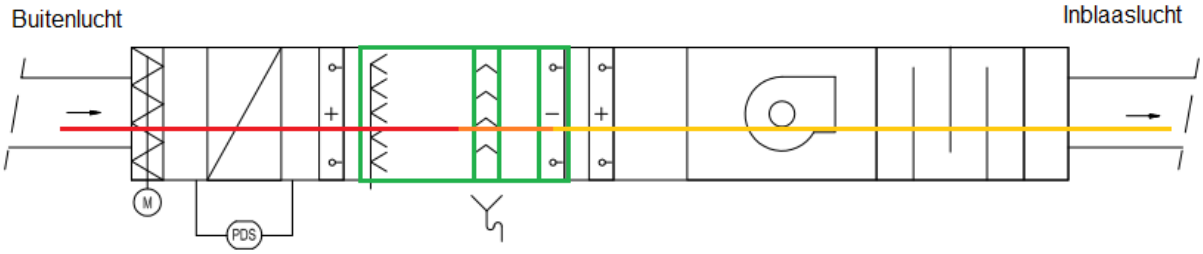


1:	kleppenregister	4:	adiabatische bevochtiging	7:	ventilator
2:	filter	5:	druppelvanger	8:	geluiddemper
3:	naverwarmer	6:	nakoeler		

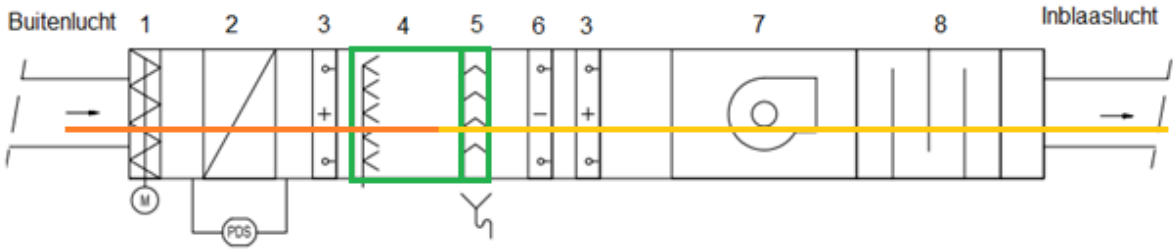
Gebied 4 direct adiabatische koeling en mechanische koeling:
In de luchtbehandelingskast zal de luchtstroom d.m.v. toestel 4 en toestel 6 op de juiste inblaasconditie geregeld worden. de toestellen zijn daarbij groen gearceerd.



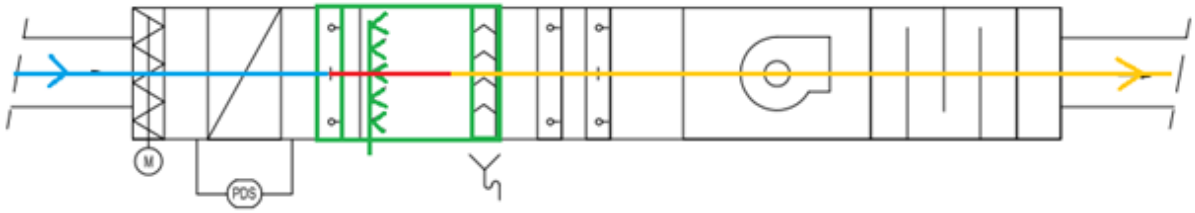
Gebied 5 gedeeltelijke vrije koeling en directe adiabatische koeling:
Werkt in principe hetzelfde als in gebied 4. De buitenlucht zal voor gedeeltelijke koeling zorgen en wordt indien nodig nagekoeld d.m.v. adiabatische bevochtiging en mechanische nakoeling.



Gebied 6 volledige vrije koeling en directe adiabatische koeling:
In gebied zes wordt de buitenlucht indien nodig adiabatisch bevochtigd naar de gewenste inblaasconditie. De lucht wordt daarbij niet meer nagekoeld door de luchtbevochtiger.



Gebied 7 verwarmen, vrije- en directe adiabatische koeling:
De koude buitenlucht wordt verwarmd door de naverwarmer. D.m.v. directe adiabatische bevochtiging wordt de lucht op de gewenste inblaasconditie gehouden.



Bijlage G opbouw Elektriciteitsprijs

Elektriciteitsprijs
Leverancier: NUON

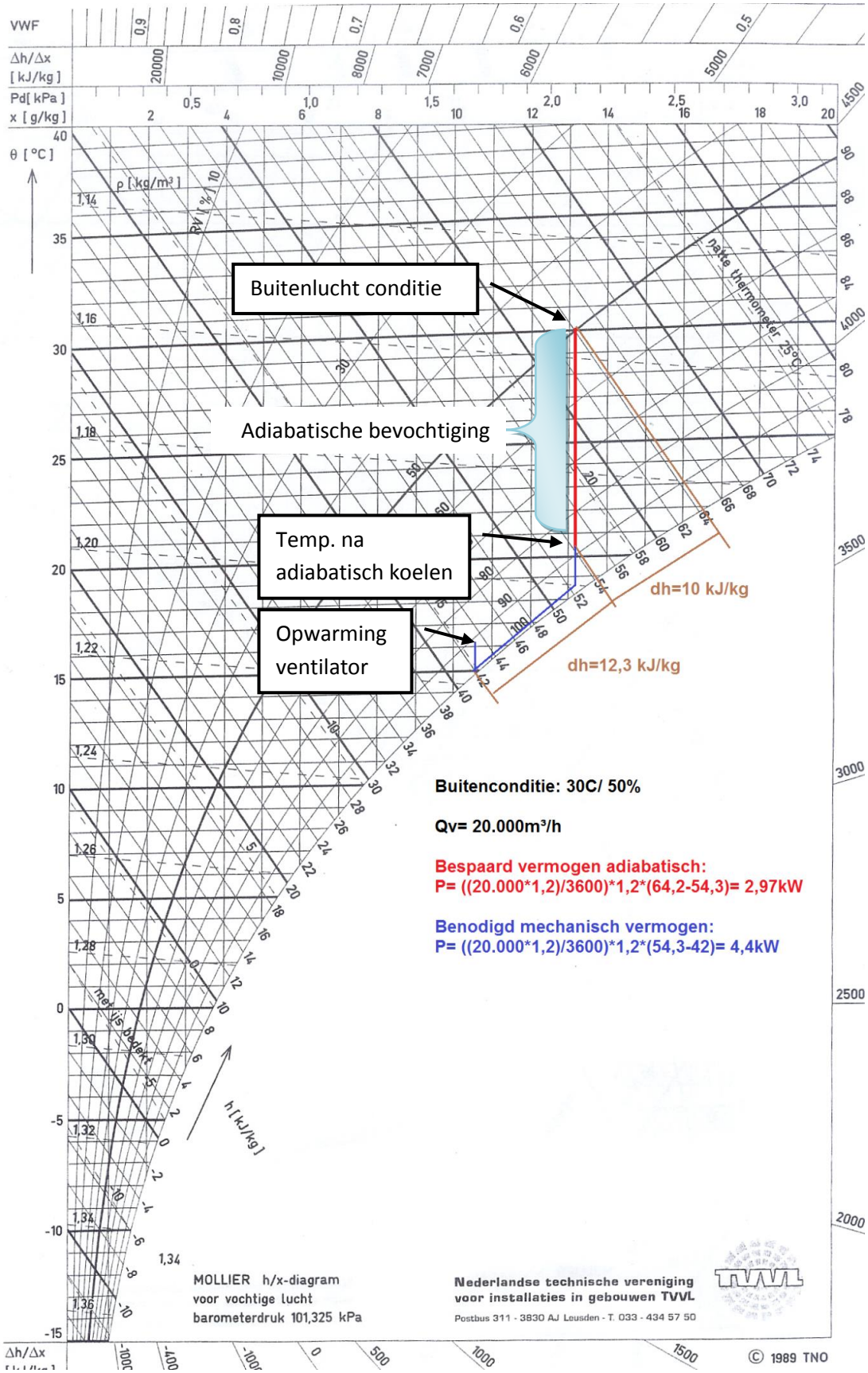
Verbruik elektriciteit:	64.000	kwh

Verbruik	tarief per kwh		energiebelasting		Totale kosen		prijs verbruik	
<10.000 kwh	€	0,0842	€	0,11	€	0,19	€	1.942,00
<50.000 kwh	€	0,0842	€	0,04	€	0,12	€	6.146,80
<10.000.000 kwh	€	0,0842	€	0,01	€	0,09	€	1.318,80

Gem. prijs per kWh verbruik:	€	0,13
Vastrecht kosten per maand:	€	1,89
vastrecht kosten per jaar:	€	22,68

Bron: http://www.nuon.nl/energie/energieprijzen/?from=tarieven&itemcategory=OVG
bezocht op d.d. 10-10-2012

Bijlage H Rekenvoorbeeld indirecte adiabatische koeling in Mollier-diagram



Bijlage I TO berekening klaslokaal referentie basisschool

Uitkomsten temperatuur overschrijdingberekening zonder het toepassen van een koelinstallatie.

```
+-------------------------------------------------------------------------------+
|              HUYGEN BV INSTALLATIE ADV.                                       |
=================================================================================
Programma    : VABI - Temperatuuroverschrijdingsprogramma VA114  - Versie  2.29
Projectnummer: Afstuderen                                          Pagina 23
Projectnaam  : basis berekening zonder koeling.PRJ                 Gebouw     1
Technicus    : Gerwin van Wijbe
Datum        : 5 november 2012     Tijd : 16:06:44
Omschrijving : Basisschool
---------------------------------------------------------------------------------

UITVOERRESULTATEN IN VERTREK   1 (Ruimte : 18   )
-------------------------------------------------
Overschrijdingen bij 25.0 gr.C. :   507 uur en bij 28.0 gr.C. :  118 uur
Maximum temperatuur             :  32.0 gr.C.

Uitgangspunten bepaling van weeguren : Metabolisme            :  0.81 Met.
                                       Clo-waarde             :  0.70 /  0.90
                                       Relatieve luchtsnelheid :  0.15 m/s

Gewogen onderschrijdingen       :    3102 uren
Gewogen overschrijdingen        :     173 uren

Onderschrijdingsuren zijn alleen van toepassing in wintersituatie

Frequentieverdeling vertrekluchttemperatuur (aantal uren)

T<=15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40 T>40
    0   0   0   0   0   0  15  48 122 182 226 169 123  97  56  43  11   7   1   0   0   0   0   0   0   0    0


MAXIMAAL VERBRUIKTE VERMOGENS

Warmtelevering tgv inblaaslucht in vertrek 1       op 27- 8 om 14 uur :        94. Watt
Koudelevering  tgv inblaaslucht in vertrek 1       op 15- 5 om  6 uur :     -4584. Watt


Maximaal verbruikte vermogens in centrale luchtbehandelingsinstallatie

Warmtelevering door heater                         op 22- 9 om  3 uur :      1473. Watt
Koudelevering door koeler (voelbaar+latent)        op  0- 0 om  0 uur :         0. Watt
Koudelevering door ontvochtiging (voelbaar+latent) op  0- 0 om  0 uur :         0. Watt
```

Uitkomsten temperatuur overschrijdingberekening met Mechanische koeling

```
+------------------------------------------------------------------------------+
|              HUYGEN BV INSTALLATIE ADV.                                      |
================================================================================
Programma    : VABI - Temperatuuroverschrijdingsprogramma VA114  - Versie  2.29
Projectnummer: Afstuderen                                          Pagina 14
Projectnaam  : basis berekening met koeling lokaal                 Gebouw     1
Technicus    : Gerwin van Wijhe
Datum        : 5 november 2012     Tijd : 16:02:26
Omschrijving : Basisschool
--------------------------------------------------------------------------------

INFORMATIE DECENTRALE KOELING/VERWARMING

   le net
      type 4   : 4-pijps fancoil-unit
      functie  : verwarming en koeling
      positie  : vrij opgesteld in het vertrek

      vertrek  1
                                                verwarming        koeling
         vermogen                                 9999. W        1320. W
            bij wateraanvoertemperatuur            60.0 C          6.0 C
            bij waterretourtemperatuur             40.0 C         12.0 C
            bij omgevingstemperatuur               20.0 C         22.0 C

         temperatuursetpoints
            bij installatie in dagbedrijf          20.0 C         22.0 C
            bij installatie standby                20.0 C         22.0 C
```

```
UITVOERRESULTATEN IN VERTREK   1 (Ruimte : 18   )
--------------------------------------------------
Overschrijdingen bij 25.0 gr.C. :   200 uur en bij 28.0 gr.C. :   14 uur
Maximum temperatuur             :  29.3 gr.C.

Uitgangspunten bepaling van weeguren : Metabolisme             :  0.81 Met.
                                       Clo-waarde              :  0.70 /  0.90
                                       Relatieve luchtsnelheid :  0.15 m/s

Gewogen onderschrijdingen       :    5298 uren
Gewogen overschrijdingen        :      11 uren

Onderschrijdingsuren zijn alleen van toepassing in wintersituatie

Frequentieverdeling vertrekluchttemperatuur (aantal uren)

T<=15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40 T>40
    0   0   0   0   0   3  19 268 262 206 142 100  56  30   8   6   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0
```

Uitkomsten temperatuur overschrijdingberekening met directe adiabatische koeling

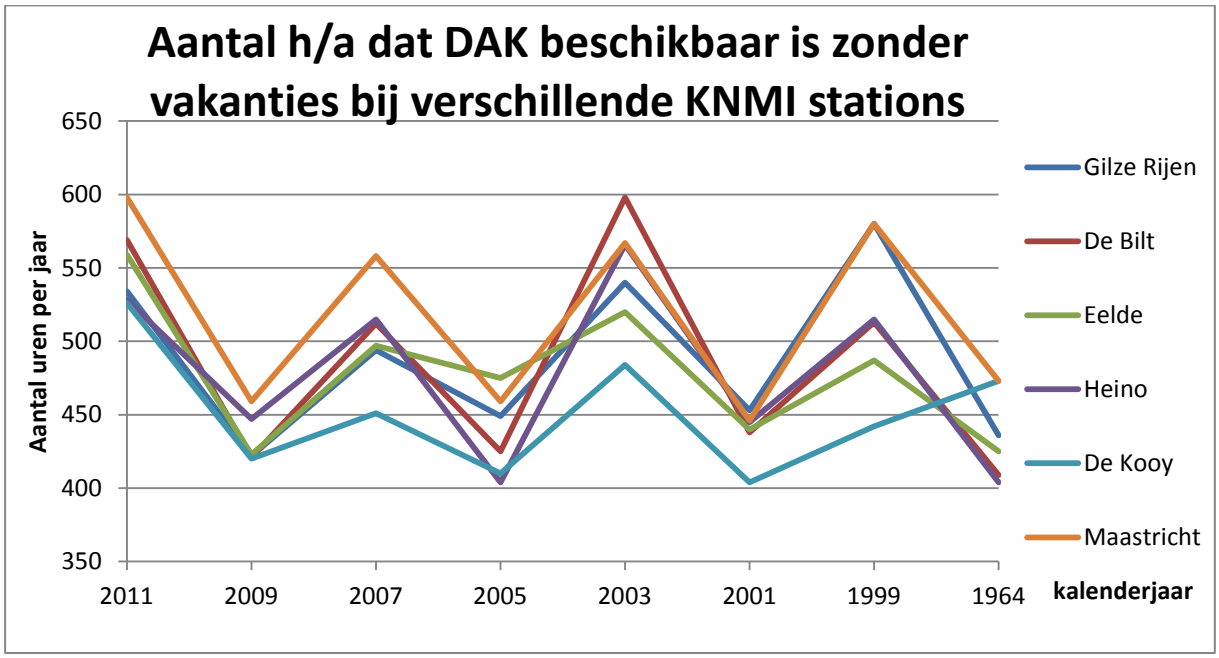
```
+-------------------------------------------------------------------------------+
|              HUYGEN BV INSTALLATIE ADV.                                       |
=================================================================================
Programma    : VABI - Temperatuuroverschrijdingsprogramma VA114  - Versie  2.29
Projectnummer: Afstuderen                                          Pagina 23
Projectnaam  : basis berekening met adiabatische k                 Gebouw     1
Technicus    : Gerwin van Wijhe
Datum        : 6 november 2012     Tijd : 09:50:56
Omschrijving : Basisschool
---------------------------------------------------------------------------------

UITVOERRESULTATEN IN VERTREK   1 (Ruimte : 18   )
--------------------------------------------------
Overschrijdingen bij 25.0 gr.C. :   312 uur en bij 28.0 gr.C. :   30 uur
Maximum temperatuur             :  29.5 gr.C.

Uitgangspunten bepaling van weeguren : Metabolisme             :  0.81 Met.
                                       Clo-waarde              :  0.70 /  0.90
                                       Relatieve luchtsnelheid :  0.15 m/s

Gewogen onderschrijdingen       :    3667 uren
Gewogen overschrijdingen        :      27 uren

Onderschrijdingsuren zijn alleen van toepassing in wintersituatie

Frequentieverdeling vertrekluchttemperatuur (aantal uren)

T<=15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40 T>40
    0   0   0   0   0   0  16  48 128 222 374 144  98  40  23   7   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0


MAXIMAAL VERBRUIKTE VERMOGENS

Warmtelevering tgv inblaaslucht in vertrek 1       op  0- 0 om  0 uur :         0. Watt
Koudelevering  tgv inblaaslucht in vertrek 1       op 15- 5 om  6 uur :     -4584. Watt


Maximaal verbruikte vermogens in centrale luchtbehandelingsinstallatie

Warmtelevering door heater                         op 22- 9 om  3 uur :      1473. Watt
Koudelevering door koeler (voelbaar+latent)        op  0- 0 om  0 uur :         0. Watt
Koudelevering door ontvochtiging (voelbaar+latent) op  0- 0 om  0 uur :         0. Watt
```

Uitkomsten temperatuur overschrijdingberekening met directe adiabatische koeling en mechanische koeling

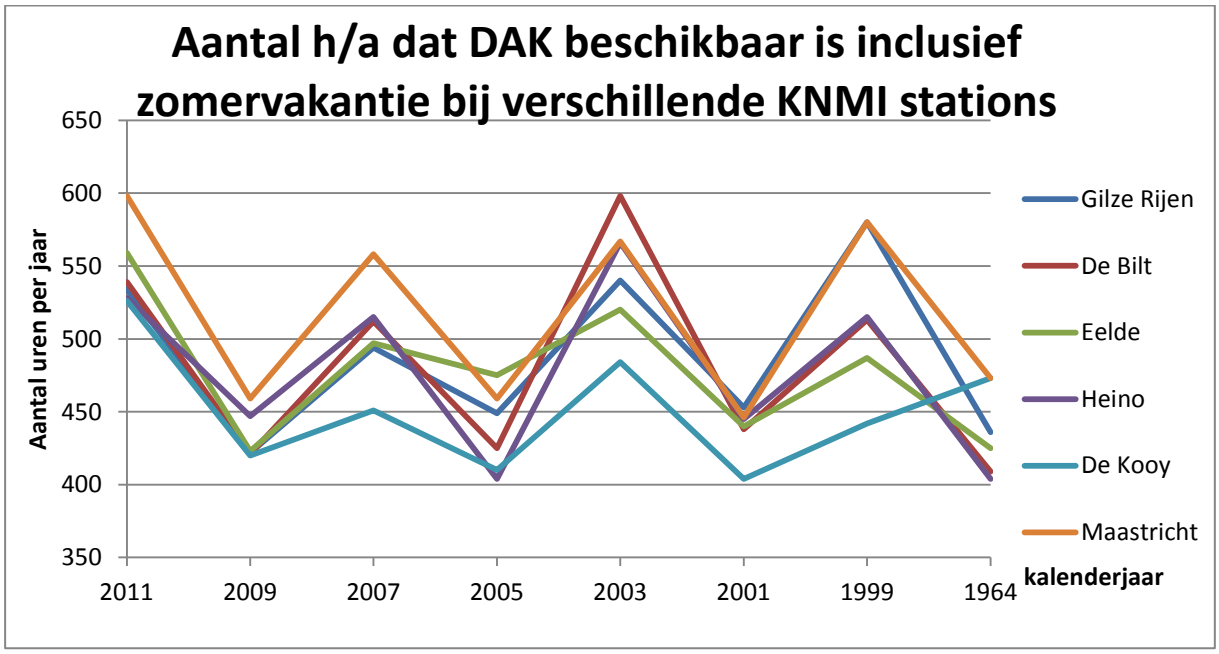
```
+------------------------------------------------------------------------------+
|              HUYGEN BV INSTALLATIE ADV.                                      |
================================================================================
Programma    : VABI - Temperatuuroverschrijdingsprogramma VA114  - Versie  2.29
Projectnummer: Afstuderen                                          Pagina 14
Projectnaam  : Berekening adaibatisch + mech koeli                 Gebouw     1
Technicus    : Gerwin van Wijhe
Datum        : 5 november 2012     Tijd : 15:57:23
Omschrijving : Basisschool
--------------------------------------------------------------------------------

INFORMATIE DECENTRALE KOELING/VERWARMING

   le net
      type 4   : 4-pijps fancoil-unit
      functie  : verwarming en koeling
      positie  : vrij opgesteld in het vertrek

      vertrek  1
                                              verwarming        koeling
         vermogen                                9999. W         450. W
            bij wateraanvoertemperatuur           60.0 C          6.0 C
            bij waterretourtemperatuur            40.0 C         12.0 C
            bij omgevingstemperatuur              20.0 C         22.0 C

         temperatuursetpoints
            bij installatie in dagbedrijf         20.0 C         22.0 C
            bij installatie standby               20.0 C         22.0 C


UITVOERRESULTATEN IN VERTREK   1 (Ruimte : 18   )
--------------------------------------------------
Overschrijdingen bij 25.0 gr.C. :   200 uur en bij 28.0 gr.C. :    7 uur
Maximum temperatuur             :  28.6 gr.C.

Uitgangspunten bepaling van weeguren : Metabolisme            :  0.81 Met.
                                       Clo-waarde             :  0.70 /  0.90
                                       Relatieve luchtsnelheid :  0.15 m/s

Gewogen onderschrijdingen       :    4655 uren
Gewogen overschrijdingen        :       4 uren

Onderschrijdingsuren zijn alleen van toepassing in wintersituatie

Frequentieverdeling vertrekluchttemperatuur (aantal uren)

T<=15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40 T>40
    0   0   0   0   0   3  19 120 184 329 245 120  46  27   7   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0
```

Bijlage J Beschikbare uren m.b.t. directe adiabatische koeling gemeten bij diverse KNMI stations

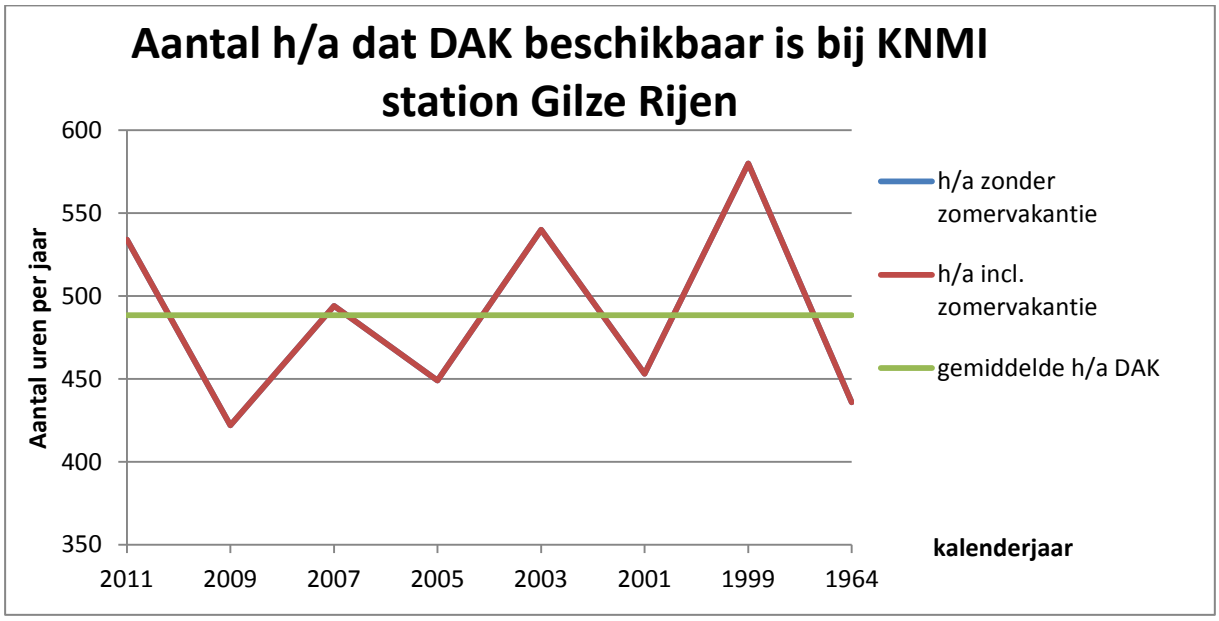
Het aantal uren aan directe adiabatische koeling zonder rekening te houden met vakanties bij verschillende KNMI stations wordt weergegeven in onderstaande grafiek.



Het aantal uren aan directe adiabatische koeling rekening houdend met vakanties bij verschillende KNMI stations wordt weergegeven in onderstaande grafiek.



Het aantal beschikbare uren m.b.t. directe adiabatische koeling bij KNMI station Gilze Rijen is 490uur. Deze tijden zijn constant wanneer er rekening wordt gehouden met en zonder zomervakantie.



Bijlage K Opbouw Exploitatiekosten adiabatische- en een conventionele luchtbehandelingskast

Overzicht kosten rekening houdend met een zomervakantie

Elektra verbruik mechanische koeling										
Type (na)koeling	*gekoeldwaterbatterij*									
Luchthoeveelheid	[m3/h]	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000	40.000	45.000
Bedrijfsuren (na)koeling (ref. vollast syst. 1)	[uur/a]	650	650	650	650	650	650	650	650	650
COP van koelmachine (intern of extern)	[-]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Opwek en transportverliezen (bij extern)	[-]	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Enthalpy verschil mechanisch koelen	[kJ/kg]	22	22	22	22	22	22	22	22	22
massastroom lucht	[kg/s]	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00
Maximaal benodigde koelcapaciteit	[kW]	44	88	132	176	220	264	308	352	396
Benodigde energie t.b.v. koeling	[kWh/a]	24.310	48.620	72.930	97.240	121.550	145.860	170.170	194.480	218.790
Elektraverbruik t.b.v. mech. koeling	[kWh/a]	6.946	13.891	20.837	27.783	34.729	41.674	48.620	55.566	62.511
Bedrijfsuren ventilatie dagbedrijf	[uur/a]	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
Motorvermogen ventilator dagbedrijf	[kW]	3,00	4,50	6,38	9,38	12,00	13,88	15,38	18,00	19,88
Benodigde energie t.b.v. ventilatoren	[kWh/a]	8.580	12.870	18.233	26.813	34.320	39.683	43.973	51.480	56.843
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.115,40	€ 1.673,10	€ 2.370,23	€ 3.485,63	€ 4.461,60	€ 5.158,73	€ 5.716,43	€ 6.692,40	€ 7.389,53
Energiekosten per jaar t.b.v. mech. koeling	[€/a]	€ 902,94	€ 1.805,89	€ 2.708,83	€ 3.611,77	€ 4.514,71	€ 5.417,66	€ 6.320,60	€ 7.223,54	€ 8.126,49
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.115,40	€ 1.673,10	€ 2.370,23	€ 3.485,63	€ 4.461,60	€ 5.158,73	€ 5.716,43	€ 6.692,40	€ 7.389,53
Onderhoudskosten	[€/a]	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00
Jaarlijkse variabele kosten	[€/a]	€ 3.253,34	€ 4.713,99	€ 6.314,05	€ 7.097,40	€ 10.211,31	€ 11.811,38	€ 13.272,03	€ 15.150,94	€ 16.751,01
Investering kosten Ibk	[€]	€ 20.000	€ 25.000	€ 50.000	€ 65.000	€ 75.000	€ 90.000	€ 105.000	€ 115.000	€ 130.000
Elektra verbruik adiabatische koeling i.c.m. mechanische koeling										
Maximaal aantal uren koeling nodig	[uur/a]	650	650	650	650	650	650	650	650	650
Type (na)koeling	*adiabatische koeling*									
Luchthoeveelheid	[m3/h]	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000	40.000	45.000
Bedrijfsuren adiabatische koeling	[uur/a]	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Opgen. verm. pomp adiab. koeling	[kW]	0,3	0,45	0,45	0,55	0,75	0,75	1	1,25	1,25
Energieverbruik adiabatische koelpomp	[kWh/a]	108	162	162	198	270	270	360	450	450
Energiekosten adiabatisch stroomverbruik	[€/a]	€ 14,04	€ 21,06	€ 21,06	€ 25,74	€ 35,10	€ 35,10	€ 46,80	€ 58,50	€ 58,50
Type (na)koeling	*gekoeldwaterbatterij*									
Bedrijfsuren (na)koeling (ref. vollast syst. 1)	[uur/a]	290	290	290	290	290	290	290	290	290
COP van koelmachine (intern of extern)	[-]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Opwek en transportverliezen (bij extern)	[-]	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Enthalpy verschil mechanisch koelen	[kJ/kg]	14	14	14	14	14	14	14	14	14
massastroom lucht	[kg/s]	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00
Maximaal benodigde koelcapaciteit	[kW]	28	56	84	112	140	168	196	224	252
Benodigde energie t.b.v. koeling	[kWh/a]	6.902	13.804	20.706	27.608	34.510	41.412	48.314	55.216	62.118
Elektraverbruik t.b.v. mechanische koeling	[kWh/a]	1.972	3.944	5.916	7.888	9.860	11.832	13.804	15.776	17.748
Energiekosten mechanische koeling	[€/a]	256	513	769	1.025	1.282	1.538	1.795	2.051	2.307
Bedrijfsuren ventilatie dagbedrijf	[uur/a]	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
Motorvermogen ventilator dagbedrijf	[kW]	4,00	6,00	8,50	12,50	16,00	18,50	20,50	24,00	26,50
Benodigde energie t.b.v. ventilatoren	[kWh/a]	11.440	17.160	24.310	35.750	45.760	52.910	58.630	68.640	75.790
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.487,20	€ 2.230,80	€ 3.160,30	€ 4.647,50	€ 5.948,80	€ 6.878,30	€ 7.621,90	€ 8.923,20	€ 9.852,70
Energiekosten elektra per jaar adiabatische koeling	[€/a]	€ 14,04	€ 21,06	€ 21,06	€ 25,74	€ 35,10	€ 35,10	€ 46,80	€ 58,50	€ 58,50
Energiekosten t.b.v. mech. koeling	[€/a]	€ 256,36	€ 512,72	€ 769,08	€ 1.025,44	€ 1.281,80	€ 1.538,16	€ 1.794,52	€ 2.050,88	€ 2.307,24
Energiekosten waterverbruik	[€/a]	€ 25,52	€ 51,04	€ 76,56	€ 102,08	€ 127,60	€ 153,12	€ 178,64	€ 204,16	€ 229,68
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.487,20	€ 2.230,80	€ 3.160,30	€ 4.647,50	€ 5.948,80	€ 6.878,30	€ 7.621,90	€ 8.923,20	€ 9.852,70
Vaste lasten rioleringskosten	[€/a]	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58
Onderhoudskosten	[€/a]	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00
Jaarlijkse variabele kosten	[€/a]	€ 3.150,70	€ 4.183,20	€ 5.394,58	€ 5.933,34	€ 8.760,88	€ 9.972,26	€ 11.009,44	€ 12.604,32	€ 13.815,70
Investering kosten Ibk	[€]	€ 29.000	€ 49.000	€ 63.000	€ 88.000	€ 97.500	€ 117.000	€ 140.000	€ 156.000	€ 175.500
Terugverdientijd		88	45	14	20	16	15	15	16	16

Netto Contante Waarde rekening houdend met een zomervakantie

Elektra stijgt met 3%

1,03	
	Ibk
α	0,09
r	0,07
n (levensduur installatie)	20

20.000 m³/h

Aantal jaren:	Elektra €/m³	mechanische koeling € mechanische kosten	adiabatisch systeem € mechanische kosten	waterverbruik	Totale kosten variabele kosten	Besparing	onderhoudskosten	Investeringverschil	NCW
1	0,13	7097	5699	235	5933	1164	1235	€ 23.000	-23751,6
2	0,13	7310	5870	235	6104	1206	1235	€ 23.000	-23307,0
3	0,14	7530	6046	235	6280	1249	1235	€ 23.000	-22849,2
4	0,14	7756	6227	235	6462	1294	1235	€ 23.000	-22377,5
5	0,15	7988	6414	235	6649	1340	1235	€ 23.000	-21891,8
6	0,15	8228	6606	235	6841	1387	1235	€ 23.000	-21391,5
7	0,16	8475	6805	235	7039	1435	1235	€ 23.000	-20876,1
8	0,16	8729	7009	235	7243	1486	1235	€ 23.000	-20345,3
9	0,16	8991	7219	235	7454	1537	1235	€ 23.000	-19798,6
10	0,17	9260	7435	235	7670	1590	1235	€ 23.000	-19235,4
11	0,17	9538	7659	235	7893	1645	1235	€ 23.000	-18655,4
12	0,18	9824	7888	235	8123	1701	1235	€ 23.000	-18058,0
13	0,19	10119	8125	235	8360	1760	1235	€ 23.000	-17442,6
14	0,19	10423	8369	235	8603	1819	1235	€ 23.000	-16808,8
15	0,20	10735	8620	235	8854	1881	1235	€ 23.000	-16156,0
16	0,20	11058	8878	235	9113	1944	1235	€ 23.000	-15483,6
17	0,21	11389	9145	235	9379	2010	1235	€ 23.000	-14791,0
18	0,21	11731	9419	235	9654	2077	1235	€ 23.000	-14077,7
19	0,22	12083	9702	235	9936	2147	1235	€ 23.000	-13342,9
20	0,23	12445	9993	235	10227	2218	1235	€ 23.000	-12586,1

Overzicht kosten zonder vakanties

Elektra verbruik mechanische koeling										
Type (na)koeling	*gekoeldwaterbatterij*									
Luchthoeveelheid	[m3/h]	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000	40.000	45.000
Bedrijfsuren (na)koeling (ref. vollast syst. 1)	[uur/a]	867	867	867	867	867	867	867	867	867
COP van koelmachine (intern of extern)	[-]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Opwek en transportverliezen (bij extern)	[-]	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Enthalpy verschil mechanisch koelen	[kJ/kg]	22	22	22	22	22	22	22	22	22
massastroom lucht	[kg/s]	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00
Maximaal benodigde koelcapaciteit	[kW]	44	88	132	176	220	264	308	352	396
Benodigde energie t.b.v. koeling	[kWh/a]	32.426	64.852	97.277	129.703	162.129	194.555	226.981	259.406	291.832
Elektraverbruik t.b.v. mech. koeling	[kWh/a]	9.265	18.529	27.794	37.058	46.323	55.587	64.852	74.116	83.381
Bedrijfsuren ventilatie dagbedrijf	[uur/a]	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
Motorvermogen ventilator dagbedrijf	[kW]	3,00	4,50	6,38	9,38	12,00	13,88	15,38	18,00	19,88
Benodigde energie t.b.v. ventilatoren	[kWh/a]	8.580	12.870	18.233	26.813	34.320	39.683	43.973	51.480	56.843
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.115,40	€ 1.673,10	€ 2.370,23	€ 3.485,63	€ 4.461,60	€ 5.158,73	€ 5.716,43	€ 6.692,40	€ 7.389,53
Energiekosten per jaar t.b.v. mech. koeling	[€/a]	€ 1.204,39	€ 2.408,77	€ 3.613,16	€ 4.817,55	€ 6.021,93	€ 7.226,32	€ 8.430,71	€ 9.635,09	€ 10.839,48
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.115,40	€ 1.673,10	€ 2.370,23	€ 3.485,63	€ 4.461,60	€ 5.158,73	€ 5.716,43	€ 6.692,40	€ 7.389,53
Onderhoudskosten	[€/a]	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00
Jaarlijkse variabele kosten	**[€/a]**	**€ 3.554,79**	**€ 5.316,87**	**€ 7.218,39**	**€ 8.303,17**	**€ 11.718,53**	**€ 13.620,05**	**€ 15.382,13**	**€ 17.562,49**	**€ 19.464,01**
Investering kosten Ibk	**[€]**	**€ 20.000**	**€ 30.000**	**€ 50.000**	**€ 65.000**	**€ 75.000**	**€ 90.000**	**€ 105.000**	**€ 115.000**	**€ 130.000**
Elektra verbruik adiabatische koeling i.c.m. mechanische koeling										
Maximaal aantal uren koeling nodig	[uur/a]	867	867	867	867	867	867	867	867	867
Type (na)koeling	*adiabatische koeling*									
Luchthoeveelheid	[m3/h]	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000	40.000	45.000
Bedrijfsuren adiabatische koeling	[uur/a]	550	550	550	550	550	550	550	550	550
Opgen. verm. pomp adiab. koeling	[kW]	0,3	0,45	0,45	0,55	0,75	0,75	1	1,25	1,25
Energieverbruik adiabatische koelpomp	[kWh/a]	165	247,5	247,5	302,5	412,5	412,5	550	687,5	687,5
Energiekosten adiabatisch stroomverbruik	[€/a]	€ 21,45	€ 32,18	€ 32,18	€ 39,33	€ 53,63	€ 53,63	€ 71,50	€ 89,38	€ 89,38
Type (na)koeling	*gekoeldwaterbatterij*									
Bedrijfsuren (na)koeling (ref. vollast syst. 1)	[uur/a]	317	317	317	317	317	317	317	317	317
COP van koelmachine (intern of extern)	[-]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Opwek en transportverliezen (bij extern)	[-]	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Enthalpy verschil mechanisch koelen	[kJ/kg]	14	14	14	14	14	14	14	14	14
massastroom lucht	[kg/s]	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00
Maximaal benodigde koelcapaciteit	[kW]	28	56	84	112	140	168	196	224	252
Benodigde energie t.b.v. koeling	[kWh/a]	7.545	15.089	22.634	30.178	37.723	45.268	52.812	60.357	67.901
Elektraverbruik t.b.v. mech. koeling	[kWh/a]	2.156	4.311	6.467	8.622	10.778	12.934	15.089	17.245	19.400
Energiekosten mech nakoeling	[€/a]	€ 280,23	€ 560,46	€ 840,68	€ 1.120,91	€ 1.401,14	€ 1.681,37	€ 1.961,60	€ 2.241,82	€ 2.522,05
Bedrijfsuren ventilatie dagbedrijf	[uur/a]	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
Motorvermogen ventilator dagbedrijf	[kW]	4,00	6,00	8,50	12,50	16,00	18,50	20,50	24,00	26,50
Benodigde energie t.b.v. ventilatoren	[kWh/a]	11.440	17.160	24.310	35.750	45.760	52.910	58.630	68.640	75.790
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.487,20	€ 2.230,80	€ 3.160,30	€ 4.647,50	€ 5.948,80	€ 6.878,30	€ 7.621,90	€ 8.923,20	€ 9.852,70
Energiekosten elektra per jaar adiabatische koeling	[€/a]	€ 21,45	€ 32,18	€ 32,18	€ 39,33	€ 53,63	€ 53,63	€ 71,50	€ 89,38	€ 89,38
Energiekosten t.b.v. mech. koeling	[€/a]	€ 280,23	€ 560,46	€ 840,68	€ 1.120,91	€ 1.401,14	€ 1.681,37	€ 1.961,60	€ 2.241,82	€ 2.522,05
Energiekosten waterverbruik	[€/a]	€ 25,52	€ 51,04	€ 76,56	€ 102,08	€ 127,60	€ 153,12	€ 178,64	€ 204,16	€ 229,68
Energiekosten ventilatoren	[€/a]	€ 1.487,20	€ 2.230,80	€ 3.160,30	€ 4.647,50	€ 5.948,80	€ 6.878,30	€ 7.621,90	€ 8.923,20	€ 9.852,70
Vaste lasten rioleringskosten	[€/a]	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58	€ 132,58
Onderhoudskosten	[€/a]	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00	€ 1.235,00
Jaarlijkse variabele kosten	**[€/a]**	**€ 3.181,98**	**€ 4.242,05**	**€ 5.477,30**	**€ 6.042,40**	**€ 8.898,75**	**€ 10.133,99**	**€ 11.201,22**	**€ 12.826,14**	**€ 14.061,39**
Investering kosten Ibk	**[€]**	**€ 29.000**	**€ 49.000**	**€ 63.000**	**€ 88.000**	**€ 97.500**	**€ 117.000**	**€ 140.000**	**€ 156.000**	**€ 175.500**
Terugverdientijd		24	18	7	11	8	8	8	9	8

Netto Contante Waarde zonder vakanties

Elektra stijgt met 3%

1,03	
	lbk
α	0,09
r	0,07
n (levensduur installatie)	20

20.000 m³/h

Aantal jaren:	Elektra €/m³	mechanische koeling € mechanische kosten	adiabatisch systeem € mechanische kosten	waterverbruik	Totale kosten variabele kosten	Besparing	onderhoud	Investeringverschil	NCW
1	0,13	8303	5808	235	6042	2261	1235	€ 23.000	-12132,9
2	0,13	8552	5982	235	6217	2336	1235	€ 23.000	-11339,8
3	0,14	8809	6161	235	6396	2413	1235	€ 23.000	-10522,9
4	0,14	9073	6346	235	6581	2492	1235	€ 23.000	-9681,5
5	0,15	9345	6537	235	6771	2574	1235	€ 23.000	-8814,9
6	0,15	9626	6733	235	6967	2658	1235	€ 23.000	-7922,2
7	0,16	9914	6935	235	7169	2745	1235	€ 23.000	-7002,8
8	0,16	10212	7143	235	7377	2834	1235	€ 23.000	-6055,8
9	0,16	10518	7357	235	7592	2926	1235	€ 23.000	-5080,4
10	0,17	10834	7578	235	7812	3021	1235	€ 23.000	-4075,7
11	0,17	11159	7805	235	8040	3119	1235	€ 23.000	-3040,9
12	0,18	11494	8039	235	8274	3220	1235	€ 23.000	-1975,1
13	0,19	11838	8280	235	8515	3323	1235	€ 23.000	-877,2
14	0,19	12193	8529	235	8764	3430	1235	€ 23.000	253,6
15	0,20	12559	8785	235	9019	3540	1235	€ 23.000	1418,2
16	0,20	12936	9048	235	9283	3653	1235	€ 23.000	2617,9
17	0,21	13324	9320	235	9554	3770	1235	€ 23.000	3853,5
18	0,21	13724	9599	235	9834	3890	1235	€ 23.000	5126,2
19	0,22	14136	9887	235	10122	4014	1235	€ 23.000	6437,1
20	0,23	14560	10184	235	10419	4141	1235	€ 23.000	7787,3

Bijlage L Cd-rom met ontwikkelde Excel bestanden